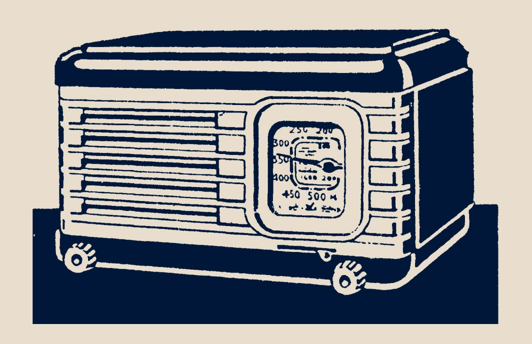


А. Д. БАТРАКОВ и С. КИН

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ РАДИОТЕХНИКА





МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 144

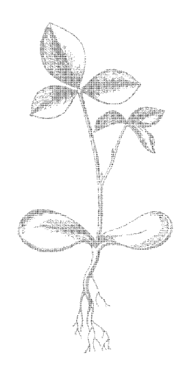
А. Д. БАТРАКОВ и С. КИН

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ РАДИОТЕХНИКА

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ЛАМПОВЫЕ РАДИОПРИЕМНИКИ

Рекомендовано Управлением технической подгото
Оргкомитета
Всесоюзного совета добровольного общества
содействия авиации, армии и флоту
в качестве учебного пособия для радиокружко





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

52175

Первая часть книги „Элементарная радиотехника" (детекторные приемники) вышла в 1951 г. В ней были кратко изложены элементарные основы радиопередачи и радиоприема, а также чтения радиосхем и конструирования приемников.

Вторая часть книги (совместно с первой) может использоваться в кружках по изучению ламповых приемников. Она будет полезна и тем радиолюбителям, которые не имеют возможности заниматься в кружках, однако при этом необходимо предварительное знакомство с первой частью книги.

Редактор *Спижевский И. И.* Техн. редактор *Ларионов Г. Е.*

Сдано в набор 26/III 1952 г. Подписано к печати 5/VI 1952 г.
Бумага $84 \times 108^{1}/_{32} = 3^{3}/_{4}$ бумажных — 12,3 п. л. Уч. изд. л. 14,3
Т-03983 Тираж 100 000 экз. (1-й завод 25 000 экз.) Зак. 3133
Цена 5 р. 75 к. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача «Элементарной радиотехники» — помочь массовой подготовке радиолюбительских кадров в радиокружках и радиоклубах.

Первая часть книги, вышедшая в 1951 г., была написана по «Программе для радиокружков по изучению детекторных приемников». При составлении второй части книги авторы стремились изложить материал применительно к действующей «Программе радиокружков по изучению ламповых радиоприемников».

Так как ознакомлению с ламповыми приемниками обычно предшествует изучение детекторных приемников, авторы сочли возможным для сокращения объема книги не возвращаться во второй ее части к некоторым вопросам, необходимым при изучении ламповых приемников, но изложенным в первой части книги. Поэтому при пользовании второй частью книги придется попутно ознакомиться с некоторыми главами и разделами из ее первой части. Особенно это относится к главе первой, в которой изложена история изобретения радио нашим великим соотечественником А. С. Поповым, показано значение радио в хозяйственной и культурной жизни СССР, а также освещена роль и значение радиолюбительского движения, как неисчерпаемого источника кадров радиоспециалистов для нашей Родины. Необходимо также детально ознакомиться с содержанием глав второй и третьей (о радиопередаче и радиоприеме), главы четвертой (о радиосхемах) и некоторых разделов из глав пятой, шестой, седьмой, восьмой, девятой и десятой.

Авторы

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ДВУХЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

1. НЕДОСТАТКИ ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА

Детекторный приемник, устройство которого было рассмотрено в первой части книги, обладает существенным недостатком. Этот недостаток — ограниченные возможности приема. На детекторный приемник можно принимать только не очень удаленные станции и нельзя получить громкоговорящего приема. Эти ограниченные возможности детекторного приемника обусловлены тем, что в нем отсутствуют собственные источники энергии и поэтому детекторный приемник создает звуки только за счет той энергии, которую он получает от передающей радиостанции. В самом деле, выделяя колебания низкой частоты из модулированных колебаний, детектор не увеличивает энергии колебаний. Больше того, так как детектор, как и всякий проводник, обладает некоторым сопротивлением, то неизбежно часть энергии приходящих колебаний затрачивается в самом детекторе. Таким образом, детектор является не источником энергии, а ее потребителем; но количество энергии, попадающей из передающей станции на приемную, бывает очень мало, и если принять во внимание, что часть этой энергии затрачивается в антенне и в колебательном контуре (которые также обладают некоторым собственным сопротивлением) и, кроме того, часть этой энергии потребляет детектор, то станет ясным, что в телефон попадает лишь небольшая доля той энергии, которая поступает в приемную антенну.

Не лучше обстоит дело и с самим телефоном. Телефон, как мы знаем,— это прибор, который превращает электрические колебания в механические, т. е. в звук, и, как всякий прибор, он также расходует некоторое количество энергии бесполезно. Только небольшую часть подводимой электрической энергии телефон отдает в виде энергии звуковых колебаний, значительная же ее часть расходуется внутри те-

лефона вследствие потерь энергии в омическом сопротивлении его катушек, в железе сердечника и т. д.

Таким образом, из всей энергии, которая попадает через антенну в детекторный приемник, только небольшая часть превращается в энергию звуковых колебаний. Этими обстоятельствами и ограничиваются возможности приема на детекторный приемник. Если передающая станция находится не слишком далеко и обладает достаточной мощностью, то в приемную антенну от нее попадает достаточное количество энергии, чтобы создать отчетливо слышимые звуки в телефоне. Если же передающая станция находится далеко, а тем более, если мощность ее невелика, то от нее в приемную антенну будет попадать недостаточное для работы телефона количество энергии и поэтому на самый лучший детекторный приемник не удастся услышать эту станцию.

Ограниченные возможности детекторного приемника сказываются и в невозможности осуществления громкоговорящего приема. Всякий громкоговоритель, так же как и телефон, представляет собой механизм, превращающий электрические колебания в колебания механические, т. е. в звук. Но для работы громкоговорителя, который должен создавать более сильные звуки, чем телефон, потребуется и большее количество энергии. Следовательно, для нормальной работы громкоговорителя от детекторного приемника необходимо, чтобы в приемную антенну попадало гораздо большее количество энергии, чем то, которое требуется для работы телефона.

Итак, возможности детекторного приемника ограничены с двух сторон. С одной стороны, на детекторный приемник нельзя услышать очень далеких (или не очень далеких, но маломощных) станций, а с другой, — на него нельзя получить громкоговорящего приема (за исключением, конечно, некоторых особенно благоприятных случаев). Ясно, что такие ограниченные возможности не могут удовлетворить радиолюбителя. Гораздо более широкие возможности в отношении дальности и громкости приема открывают ламповые радиоприемники.

Путь, по которому нужно итти для того, чтобы расширить возможности приема, в общих чертах должен быть таков. Нужно создать на месте — в приемнике — источник энергии, которую можно было бы превратить затем в энергию механических (звуковых) колебаний. Приходящие же колебания в этом случае должны служить только для того, чтобы управлять энергией, источник которой находится

в самом приемнике. А с помощью соответствующих приборов можно, располагая очень малыми количествами энергии, управлять гораздо бо́льшими количествами энергии. Поэтому, имея приемник с собственным источником энергии, можно за счет этой энергии получить громкоговорящий прием самых отдаленных станций. Прибором, который с помощью малой энергии управляет гораздо большей энергией электрических колебаний, является электронная лампа. Поэтому приемник с электронными лампами или, короче, ламповый приемник и дает возможность осуществлять громкоговорящий прием далеких станций.

В ламповом приемнике, так же как и в детекторном, важную роль играют колебательные контуры, устройство и назначение которых были описаны в первой части книги. Другим важным элементом лампового приемника является электронная лампа, с устройством и применением которой в приемниках прежде всего необходимо ознакомиться.

2. ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Работа электронной лампы основана на управлении потоком свободнолетящих внутри нее электронов — мельчайших частиц отрицательного электричества Поэтому описание устройства электронной лампы необходимо начать с рассмотрения способа получения потока электронов.

Как известно, всякое тело состоит из отдельных атомов и всякий атом, в свою очередь, состоит из положительно заряженного ядра и отрицательных электронов. Притяжение ядра удерживает электроны в атоме, однако в некоторых случаях часть электронов атома бывает очень слабо связана с ядром и легко может отрываться от атома. Такие слабо связанные с атомом электроны существуют, например, во всех металлах. Эти слабо связанные электроны (их для краткости часто называют «свободными» электронами) могут перемещаться внутри металла от одного атома к другому.

Способность металлов проводить электрический ток объясняется именно присутствием этих «свободных» электронов, которые под действием сил электрического поля могут перемещаться внутри металла. Однако хотя электроны и могут свободно двигаться внутри проводника, но они не могут выйти за его пределы в окружающее пространство. Этому препятствуют силы притяжения, действующие на электрон со стороны положительно заряженных ядер атомов, находящихся на поверхности проводника. Эти атомы

создают нечто вроде барьера для электронов, двигающихся внутри проводника. Для того чтобы вылететь за пределы проводника, электрон должен преодолеть действие притяжения ядер атомов, находящихся на поверхности проводника,— преодолеть барьер, ими образованный. А для этого электрон должен совершить некоторую работу против сил притяжения ядер, подобно тому, как мы совершаем работу против силы притяжения земли, когда поднимаем тяжелое тело. Работа, которую должен совершить электрон, вылетающий за пределы проводника, называется «работой выхода» или «работой вылета». Величина «работы выхода» для различных металлов различна.

Всякий электрон, покидающий пределы проводника, должен совершить эту работу, а для этого он должен обладать соответствующим запасом энергии.

Чем же определяется энергия, которой обладают «свободные» электроны в металле? «Свободные» электроны в металле принято сравнивать с газом, так как «электронный газ», содержащийся в металле, своим поведением напоминает обычный газ. Сходство между обычным газом и «электронным газом» заключается в том, что частицы как первого (молекулы газа), так и второго (электроны) находятся в постоянном беспорядочном тепловом движении. Движение это происходит по всевозможным направлениям и с различными скоростями.

Как и всякое движущееся тело, движущийся электрон обладает некоторым запасом кинетической энергии и за счет этой энергии может совершить некоторую работу. Работа, которую электрон может совершить, будет тем больше, чем больше его запас энергии, т. е. чем быстрее он движется.

Как молекулы газа, так и электроны «электронного газа», совершая беспорядочное движение, обладают самыми различными скоростями, но средняя скорость этих частиц есть величина вполне определенная, зависящая от температуры газа. Если газ обладает определенной температурой, то хотя частицы его и обладают различными скоростями, но подавляющее большинство их будет обладать скоростями, близкими к средней скорости, и только немногие из них будут иметь скорость, заметно отличающуюся от средней. Сама же средняя скорость частиц в газе будет тем больше, чем выше температура газа. Так же обстоит дело и с «электронным газом». Чем выше температура того проводника, в котором этот «газ» заключен, тем больше скорости «свободных» электронов внутри проводника. Пока

скорость электрона такова, что он обладает меньшей энергией, чем та, которую нужно затратить, чтобы совершить работу выхода, очевидно, что он не сможет выйти за пределы проводника.

Поэтому, если средняя скорость электронов много меньше той, которой должен обладать электрон, чтобы совершить работу выхода, то почти не будет электронов, которые смогли бы вырываться за пределы проводника.

Если же средняя скорость электронов будет настолько велика, что достаточно большое число электронов будет обладать энергией большей, чем работа выхода, то они смогут вырваться за пределы проводника в окружающее пространство.

Поэтому, если нагреть проводник настолько, чтобы скорости электронов были достаточно велики и значительная часть электронов обладала энергией, превышающей работу выхода, то эти электроны будут вылетать за пределы проводника в окружающее пространство. Явление это носит название термоэлектронной эмиссии [1].

Явление термоэлектронной эмиссии и применяется для получения потока электронов в электронных лампах. Источником электронов в электронной лампе служит накаленный металлический проводник, помещенный в стеклянный или металлический баллон. Для того чтобы электроны, вылетевшие из этого накаленного проводника, могли дальше беспрепятственно двигаться внутри лампы, из ее баллона удаляется воздух,— в баллоне создается вакуум. В противном случае электроны, движущиеся внутри баллона, сталкивались бы с молекулами воздуха, теряли бы свою скорость при этих столкновениях и вызывали бы ионизацию молекул газа (т. е. образование из нейтральных молекул электрически заряженных ионов). Словом, при наличии газа внутри баллона вместо свободного потока электронов, движущегося в лампе под действием сил электрического поля, возникали бы гораздо более сложные явления электрического разряда в газе. Поэтому в электронных лампах обычно (кроме некоторых специальных типов ламп) создается высокий вакуум, и лампы эти (в отличие от специальных типов ламп, содержащих газ) называются вакуумными или пустотными.

Из всего сказанного выше ясно, что количество электронов, которые могут вырваться за пределы проводника,

---

[1] Термо означает тепловая, эмиссия — испускание.

будет тем большее, чем выше температура проводника, так как при этом больше будет электронов, обладающих большими скоростями.

Таким образом, между температурой металлического проводника и количеством электронов, которые могут вырваться из этого проводника наружу, существует вполне определенная зависимость. Для различных металлов эта зависимость будет различна, так как чем больше работа выхода, тем сильнее надо накалить металл, чтобы получить от него то же самое количество электронов. Однако общий характер этой зависимости для различных металлов будет одинаков, именно: количество электронов, которые могут вырваться из проводника вначале, при низких температурах, очень мало, но, начиная с некоторой температуры, быстро растет при ее повышении. Для тугоплавких металлов, например вольфрама, заметное выделение электронов начинается только при температуре свыше 1 000° С, при температуре около 2 000° С количество электронов, выделяемых вольфрамом, уже очень велико. С 1 *мм*² поверхности вольфрама при этой температуре может выделиться уже такое количество электронов в секунду, которое соответствует электрическому току силой в несколько миллиампер. Этот ток, создаваемый электронами, вылетающими из проводника в окружающее пространство, называется током эмиссии.

3. НИТЬ НАКАЛА

Для работы радиолампы необходимо получить электронный поток, содержащий достаточно большое количество электронов, т. е. создать достаточно большой ток эмиссии.

Источником электронной эмиссии в простейшей электронной лампе служит нить накала [1] — тонкая металлическая нить, прикрепленная к двум ножкам, концы которых выведены из баллона наружу. Через эти ножки к нити подводится нагревающий ее электрический ток.

Чтобы нагреть нить до высокой температуры, необходим достаточно сильный ток накала, на поддержание которого затрачивается довольно много энергии. Чем ниже температура, при которой нить дает нужный ток эмиссии, тем меньше расходуется энергии на накал нити и тем экономич-

---

[1] В современных электронных лампах источником электронов часто служит не сама нить накала, а специальный электрод более сложной конструкции, который будет описан в § 10.

нее электронная лампа. Поэтому выгодно, по возможности, снижать температуру накала нити, конечно, не уменьшая при этом количества электронов, которое может быть ею выделено.

Как вытекает из сказанного выше, для того чтобы получить тот же ток эмиссии при более низкой температуре проводника, нужно уменьшить работу выхода электронов из этого проводника. Этого можно достичь специальной обработкой поверхности проводника. Например, если к вольфраму прибавить небольшое количество окиси тория и изготовленную из него нить обработать так, чтобы на поверхности ее образовался очень тонкий слой тория, то такая торированная нить будет обладать значительно меньшей работой выхода, чем нить из чистого вольфрама.

Уменьшение работы выхода происходит потому, что между слоем тория и вольфрамом возникает электрическое поле, облегчающее вылет электронов из нити накала, так как слой тория имеет положительный потенциал относительно вольфрамовой нити. Благодаря этому торированная нить выделяет с 1 *мм*² поверхности при температуре в 1 000° С такое же примерно количество электронов, которое чистая вольфрамовая нить выделяет при температуре, превышающей 2 000° С.

Торированная нить накала экономичнее вольфрамовой примерно в 10 раз. Но все же могут быть осуществлены еще более экономичные нити накала. Помимо этого недостатком торированных нитей накала является «потеря эмиссии» (т. е. потеря способности испускать электроны при более низкой температуре) при перекале, наступающая вследствие испарения поверхностного слоя тория. Правда, восстановить поверхностный слой тория иногда удается путем кратковременного форсированного накала торированной нити (примерно двойным по силе током), благодаря чему на поверхность нити, изнутри ее, приходят новые атомы тория.

С целью получения более прочного слоя тория на поверхности вольфрамовой нити торированную нить накаливают в парах нафталина или ацетилена. В результате получается так называемая карбидированная нить накала, в которой между одноатомным слоем тория и вольфрамом расположен слой карбида вольфрама (химического соединения вольфрама с углеродом). Недостатком карбидированной нити накала является ее хрупкость. Она не выносит тряски и поэтому лампы с карбидированными нитями накала

нельзя применять в переносных и вообще подверженных тряске приемниках.

Более совершенной является бариевая (бариpованная) нить накала, которая экономичнее торированной в 4—5 раз. Принцип работы бариевой нити такой же, как и торированной нити.

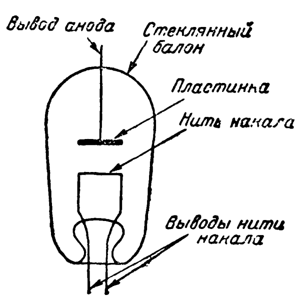
Так же как и торированная, бариевая нить накала представляет собой вольфрамовую нить, покрытую очень тонким слоем бария. Бариевая нить в меньшей степени теряет эмиссию при перекале, чем торированная, и поэтому более надежна в эксплуатации.

Еще более экономична оксидная нить накала, изготовленная из сплава никеля с железом и с другими металлами и покрытая слоем химического соединения металлов бария и стронция с углеродом и кислородом. Оксидные нити накала в несколько раз экономичнее барированных.

Нити, специально обработанные с целью уменьшения работы вылета и получения достаточного тока эмиссии при сравнительно низкой температуре, носят название активированных нитей. Кроме описанных выше существуют и другие способы активирования нитей накала электронных ламп.

4. ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА

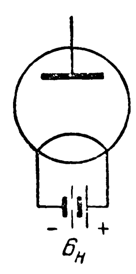
Если в баллоне лампы вблизи ее нити накала поместить другой металлический электрод, например пластинку, и от этого электрода сделать наружу вывод, мы получим так называемую двухэлектродную лампу, или диод, в котором одним электродом будет служить нить накала, а другим — пластинка. Такая двухэлектродная лампа в упрощенном виде изображена на фиг. 1. На схемах двухэлектродная лампа условно изображается так, как указано на фиг. 2.



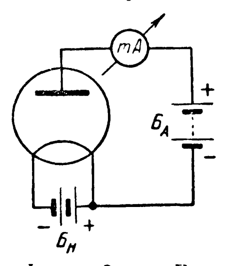
Фиг. 1. Упрошенное изображение двухэлектродной лампы.

Кроме батареи, включаемой между концами нити и служащей для ее накала (батарея $Б_н$ на фиг. 2), может быть включена вторая батарея (или вообще источник напряжения) между нитью накала и пластинкой (батарея $Б_А$ на фиг. 3). Если эта батарея будет присоединена положительным полюсом к пластинке, именуемой анодом лампы, а от-

рицательным — к нити, то внутри лампы между анодом и нитью возникнет электрическое поле. Это поле будет направлено от анода к нити. Электроны, вылетающие из нити, будут попадать в это поле, и так как они представляют собой частицы отрицательного электричества, то они будут двигаться против поля, т. е. от нити к аноду. В результате в лампе установится движение электронов от нити к аноду. Электроны, попадающие на анод, создают на нем избыточный отрицательный заряд вследствие чего возникнет движение электронов во внешней цепи от анода через батарею к нити (на которой вследствие эмиссии образуется недостаток электронов). Таким образом, в контуре, образованном участком нить—анод и внешней цепью, возникнет электрический ток. Так как направлением электрического тока принято считать направление движения положительных зарядов или направление, обратное истинному движению отрицательных зарядов, то, очевидно, электрический ток во внешней цепи, соединяющей анод с нитью, будет направлен от нити к аноду (отрицательно заряженные электроны во внешней цепи движутся от анода к нити). Этот ток может быть обнаружен при помощи измерительного прибора mA (миллиамперметра), включенного в цепь так, как указано на фиг. 3.



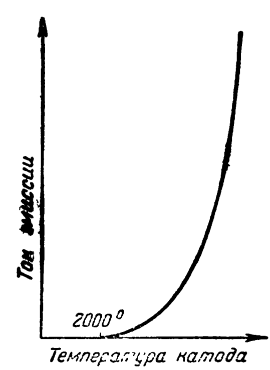
Фиг. 2. Так двухэлектродная лампа изображается на схемах.



Фиг. 3. Если подключить батарею $Б_А$ плюсом к пластинке, а минусом к нити, то во внешней цепи потечет электрический ток.

Если бы мы включили батарею $Б_А$ в обратном порядке, т. е. положительным полюсом к нити, а отрицательным — к аноду, то и электрическое поле между нитью и анодом внутри лампы изменило бы свое направление, т. е. оно было бы направлено от нити к аноду. Так как электроны могут двигаться только против направления поля, то в данном случае поле, создаваемое батареей, будет отталкивать вылетевшие из нити электроны назад к ней и они не смогут попасть на анод. При этих условиях и ток в цепи диода и во внешней цепи не возникнет. Поэтому, для того чтобы в цепи диода возник ток, батарея $Б_А$ (и вообще всякий источник напряжения) должна быть присоединена

положительным полюсом к аноду, а отрицательным — к нити накала. Электрод, который находится под положительным напряжением, принято называть анодом, а находящийся под отрицательным напряжением — катодом, поэтому и в электронной лампе пластинку или электрод другой формы, выполняющий ту же роль, обычно называют анодом, а нить накала — катодом. Батарея $Б_А$ носит название анодной батареи, замкнутая цепь, состоящая из промежутка катод — анод внутри лампы и внешней цепи, соединяющей анод и катод лампы (на фиг. 3 эта внешняя цепь состоит из анодной батареи $Б_А$ и миллиамперметра mA), называется анодной цепью, а ток, текущий в этой цепи, — анодным током.



Фиг. 4. Количество электронов, вылетающих из нити, увеличивается при повышении температуры нити; поэтому растет и ток эмиссии.

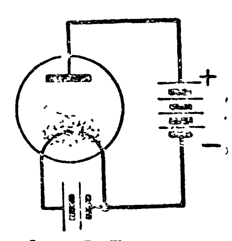
Если электрическое поле между нитью и анодом будет настолько сильно (напряжение анодной батареи столь велико), что все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться этим полем и попадать на анод, то сила анодного тока будет соответствовать тому количеству электронов, которое при данной температуре выделает в секунду нить накала. Таким образом, при большом напряжении на аноде сила анодного тока определяется величиной эмиссии катода, иначе говоря, анодный ток равен полному току эмиссии, который может быть получен с катода при данной его температуре. Так как эмиссия с катода тем больше, чем выше его температура, то, очевидно, сила анодного тока будет возрастать с увеличением степени накала нити.

Измеряя силу анодного тока при большом анодном напряжении и при разных температурах нити, мы получим зависимость между температурой нити и величиной тока эмиссии, которая характеризуется кривой, изображённой на фиг. 4.

Рассмотрим теперь, чем будет определяться сила анодного тока в том случае, если анодное напряжение сравнительно мало. В этом случае не все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться полем анода. Те электроны, которые захвачены этим полем, достигнут анода, другая часть

электронов, не захваченная полем анода, будет оставаться вблизи нити. Эти электроны создают вокруг нити «электронное облако» — так называемый пространственный заряд, плотность которого уменьшается по мере удаления от катода (фиг. 5). Электроны внутри облака не неподвижны. Часть из них под действием электрического поля переносится на анод, но на их место из нити выделяются новые электроны. Электронное облако вокруг нити будет находиться, таким образом, в состоянии «подвижного равновесия».

Размеры «электронного облака» зависят, с одной стороны, от температуры накала нити, а с другой, — от величины анодного напряжения. Если накал нити очень слаб, так что она выделяет очень небольшое число электронов, которые все целиком могут быть захвачены полем анода (даже если оно невелико), то очевидно, что электронного облака вокруг нити не будет, так как все выделяемые ею электроны будут тотчас же перемещаться к аноду. Если увеличивать накал нити, не повышая анодного напряжения, то число электронов, вылетающих из нити, будет возрастать, а число электронов, улетающих на анод, останется примерно прежним. Вследствие этого пространственный заряд будет увеличиваться. Однако рост пространственного заряда не будет продолжаться беспредельно, так как электроны пространственного заряда будут отталкивать обратно новые электроны, вылетающие из нити, т. е. будут препятствовать дальнейшему увеличению пространственного заряда.



Фиг 5. Если анодное напряжение не очень велико, не все электроны попадают на анод; часть их остается у катода, образуя вокруг него „электронное облако".

Как мы уже знаем, энергия электронов, вылетающих из нити, будет тем больше, чем выше температура нити. Значит, чем сильнее мы накалим нить, тем большее число электронов преодолеет противодействие пространственного заряда и вылетит наружу. Поэтому величина пространственного заряда при данном анодном напряжении будет тем больше, чем выше накал нити.

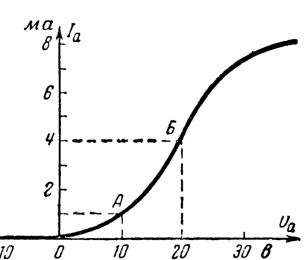
Рассмотрим более детально, как изменяется сила анодного тока при увеличении анодного напряжения. После всего сказанного выше легко установить характер этих изменений. Очевидно, что пока напряжение на аноде отсутствует, электроны, вылетающие из нити, не будут притяги-

ваться к аноду и останутся вокруг нити в виде пространственного заряда. Таким образом, при отсутствии анодного напряжения вокруг нити будет существовать большой пространственный заряд. Правда, некоторые электроны, обладающие особенно большими скоростями, смогут вылететь из нити, «прорваться» через пространственный заряд и достигнуть анода. Но число этих очень быстрых электронов будет мало, и поэтому анодный ток в отсутствие анодного напряжения будет очень мал. Если мы включим и начнем постепенно увеличивать анодное напряжение, то часть электронов пространственного заряда будет захватываться этим напряжением и переноситься на анод — в анодной цепи лампы появится ток. Анодный ток будет тем сильнее, чем выше анодное напряжение, так как тем больше электронов будет захватываться электрическим полем, существующим между нитью и анодом. Однако анодный ток не будет расти беспредельно при увеличении анодного напряжения. Когда анодное напряжение достигнет такой величины, что все электроны, вылетающие из нити, будут захватываться электрическим полем анода, дальнейшее возрастание анодного тока прекратится. Поскольку все электроны, выделяемые нитью, уже захвачены полем анода, дальнейшего увеличения силы тока, несмотря на увеличение анодного напряжения, произойти не может. Такое явление называется насыщением, а наибольший ток, который может дать лампа в случае, когда все электроны, выделяемые нитью, переносятся на анод, называется током насыщения.

Таким образом, для того чтобы получить ток в цепи диода, к нему нужно приложить некоторое напряжение, причем (пока не достигнуто насыщение) этот ток будет увеличиваться по мере увеличения приложенного к нему напряжения. В этом отношении диод подобен любому электрическому проводнику, и он, как всякий проводник, обладает некоторым сопротивлением, которое называется внутренним сопротивлением диода. Однако в отличие от обычных проводников, сопротивление которых постоянно, т. е. не зависит от величины и знака приложенного напряжения, внутреннее сопротивление диода не постоянно, а зависит от величины и знака приложенного к нему напряжения. При отрицательном напряжении на аноде ток через диод не течет, и, значит, его внутреннее сопротивление бесконечно велико. При небольшом положительном напряжении, когда ток диода еще не достиг насыщения, его внутреннее сопротивление остается сравнительно небольшим (достигает сотен

или тысяч ом — в зависимости от типа диода), а в области тока насыщения оно начинает быстро возрастать. Обычно, когда приводят данные о внутреннем сопротивлении диода, то имеют в виду именно условия работы при небольших положительных напряжениях на аноде, когда ток диода еще не достиг насыщения.

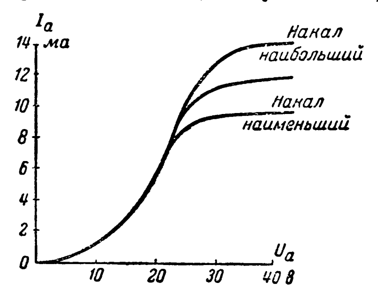
Все то, что было сказано относительно зависимости между анодным напряжением и силой анодного тока в двухэлектродной лампе, очень удобно изобразить графически с помощью характеристики, подобной тем, которыми пользуются при рассмотрении работы детектора. С этой целью на горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают значения анодного напряжения U_a в определенном масштабе (фиг. 6), а на вертикальной оси (оси ординат) — значения силы анодного тока I_a также в определенном масштабе. На этот график наносят точки, соответствующие определенному анодному напряжению и анодному току. Например, если при напряжении в 10 *в* анодный ток составляет 1 *ма*, то это изобразится точкой *А*. Если увеличить анодное напряжение до 20 *в* и при этом получится анодный ток 4 *ма*, то этому будет соответствовать точка *Б*, и т. д. Производя достаточное число измерений силы тока при различных анодных напряжениях, находят ряд точек, соединив которые плавной кривой получают характеристику анодного тока диода. Так как при анодном напряжении, равном нулю, анодный ток практически также равен нулю, то, очевидно, характеристика двухэлектродной лампы всегда будет начинаться в точке пересечения осей (в начале координат). При увеличении анодного напряжения анодный ток также будет возрастать, и характеристика будет подниматься кверху. В тот момент, когда анодный ток достигнет величины тока насыщения, дальнейшее его увеличение прекратится, и характеристика пойдет дальше горизонтально. Для лампы, характеристика которой изображена на фиг. 6, ток насыщения равен примерно 8 *ма*.



Фиг. 6. Зависимость анодного тока от анодного напряжения можно изобразить графически. Этот график называется анодной характеристикой лампы.

Величина тока насыщения, как мы уже выяснили, зависит от температуры нити. Поэтому, чем сильнее накалена

нить, тем выше поднимается характеристика лампы. Изменяя ток накала и снимая при этом характеристики двухэлектродной лампы, получают картину, изображенную на фиг. 7.



Фиг. 7. Ток насыщения тем больше, чем больше накал нити

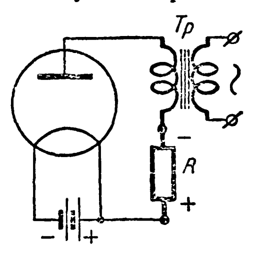
Вначале все характеристики будут итти вместе, но на характеристике, соответствующей меньшему накалу, насыщение наступит при меньшем анодном напряжении и ему будет соответствовать меньший анодный ток, чем на характеристике, соответствующей большему накалу. Поэтому, чем больше будет накал нити, тем выше будет расположен изгиб характеристики, соответствующий току насыщения. В случае, изображенном на фиг. 7, наименьшему накалу соответствует ток насыщения около 9 *ма*, а наибольшему накалу — около 14 *ма*.

5. ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПЫ

Характеристика лампы определяет ее свойства и позволяет судить о том, для чего эта лампа может быть применена. Отличительной чертой характеристики двухэлектродной лампы являются ее непрямолинейность и несимметричность относительно оси ординат, т. к. по обе стороны от оси ординат характеристика имеет различный вид (в нашем случае слева от оси ординат анодный ток равен нулю, т. е. характеристика совпадает с осью абсцисс). Но, как было показано в первой части книги, проводник, обладающий несимметричной характеристикой, может служить детектором. Поэтому двухэлектродная лампа может быть применена для детектирования модулированных колебаний высокой частоты (радиосигналов). Однако, как видно из характеристики, для того чтобы получить достаточно сильные анодные токи, нужно подвести к аноду лампы сравнительно высокие напряжения. Это значит, что двухэлектродная лампа является малочувствительным детектором. Поэтому, хотя двухэлектродную лампу можно использовать в качестве детектора, но на практике она для этой цели применяется только в многоламповых приемниках после предварительного усиления принимаемых сигналов, главным образом в приемниках супергетеродинного типа, о которых будет

рассказано в конце книги. Чаще всего двухэлектродные лампы применяются для выпрямления переменного тока, т. е. для превращения переменного тока в ток постоянный по направлению.

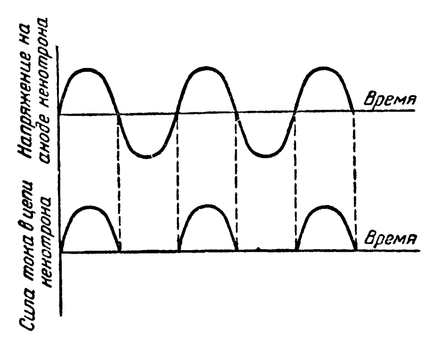
Как мы установили, анодный ток появляется в цепи двухэлектродной лампы (диода) только в том случае, когда к аноду лампы приложено положительное напряжение. Если к аноду будет приложено отрицательное напряжение, тока в цепи лампы не будет. Это свойство двухэлектродной лампы — ее односторонняя проводимость — и используется для выпрямления переменных токов. Если включить между нитью и анодом, источник переменного напряжения, например питаемый обычным переменным током трансформатор *Тр* (фиг. 8), то ток в анодной цепи и, в частности, в нагрузке *R* будет проходить только во время тех полупериодов переменного тока, когда на анод лампы подается положительное напряжение, т. е. все время в одном и том же направлении. Электроны внутри лампы будут двигаться от нити к аноду и дальше во внешней цепи — от анода к нити. Следовательно, во внешней цепи ток будет проходить от нити к аноду. Поэтому двухэлектродную лампу, включенную в цепь переменного тока, можно рассматривать по отношению к нагрузке *R* как источник постоянного по направлению, но меняющегося по величине тока, причем катод лампы служит положительным полюсом этого источника.



Фиг. 8. Ток через лампу проходит только в те половины периодов, когда на ее анод подается плюс, а на катод — минус.

Так как диод обладает некоторым внутренним сопротивлением, то, значит, на нем должно происходить падение напряжения (это падение напряжения и есть то напряжение, которое должно существовать между катодом и анодом для того, чтобы в цепи диода протекал ток). Сопротивление диода, как уже указывалось, обычно составляет сотни или тысячи ом, и поэтому диод является источником тока с сравнительно большим внутренним сопротивлением. Графически всю картину превращения с помощью диода переменного тока в ток постоянный по направлению можно изобразить так, как это показано на фиг. 9. Верхняя кривая на этой фигуре изображает подводимые к диоду переменные напряжения, а нижняя кривая — ток в анодной цепи. Таким обра-

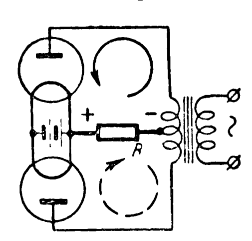
зом, в цепи лампы мы получаем отдельные толчки (пульсации) тока, направленные всегда в одну и ту же сторону. Такой ток, постоянный по направлению, но переменный по величине, называется пульсирующим током. Следовательно, двухэлектродная лампа превращает переменный ток в пульсирующий.



Фиг. 9. Лампа превращает переменный ток в пульсирующий.

Выпрямление переменного тока с помощью двухэлектродной лампы нашло широкое применение в технике. Для этой цели применяются специальные лампы, называемые кенотронами.

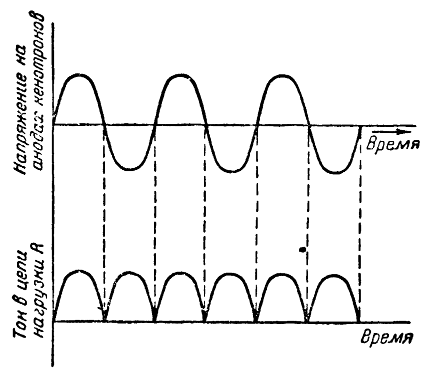
Та простейшая схема выпрямителя, которую мы только что рассмотрели, обладает следующей особенностью. Во время тех полупериодов, когда на анод кенотрона попадает отрицательное напряжение, схема вовсе не работает, так как в цепи анода ток не проходит. Следовательно, при такой схеме используется только один полупериод переменного тока, а второй его полупериод остается неиспользованным. Поэтому такое выпрямление называется однополупериодным.



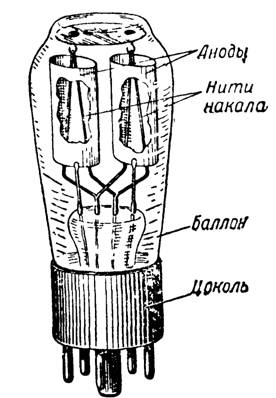
Фиг. 10. Схема с двумя кенотронами работает в течение обоих полупериодов.

На практике чаще применяются схемы двухполупериодного выпрямления, в которых выпрямление осуществляется двумя кенотронами (фиг. 10) В этой схеме аноды кенотронов подключены к противоположным концам обмотки трансформатора, и поэтому напряжения, подаваемые на аноды обоих кенотронов, имеют противоположные знаки, т. е. когда к аноду первого кенотрона подведено положительное напряжение, анод второго кенотрона находится под отрицательным напряжением, и наоборот. Благодаря такому способу включения анодный ток течет в течение одного из полупериодов в цепи одного кенотрона, а в течение второго полупериода — в цепи другого. Легко сообразить, какой вид будет иметь в этом случае график выпрямленного тока. Оба полу-

периода переменного напряжения будут давать во внешней нагрузке R ток, текущий в одном и том же направлении от нити кенотрона к средней точке трансформатора, и в цепи



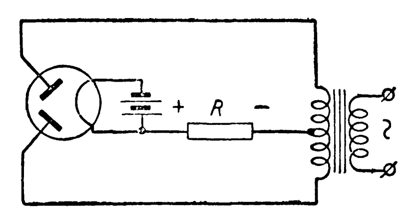
Фиг. 11. При двухполупериодном выпрямлении импульсы выпрямленного тока следуют друг за другом непрерывно.



Фиг. 12. Двуханодный кенотрон представляет собой две лампы в одном баллоне.

нагрузки R будет проходить пульсирующий ток, вид которого изображен на кривой фиг. 11.

Вместо двух кенотронов для осуществления схемы двухполупериодного выпрямления часто применяют лампу, содержащую два кенотрона в одном баллоне (фиг. 12). Схема двухполупериодного выпрямления с таким двойным кенотроном ничем не отличается от рассмотренной выше схемы с двумя кенотронами. Широко применяются также кенотроны с одним общим катодом и двумя анодами. Схема двухполупериодного выпрямления с таким двуханодным кенотроном изображена на фиг. 13. Принципиально она ничем не отличается от схемы фиг. 10 *.



Фиг. 13. Схема с двуханодным кенотроном принципиально не отличается от схемы с двумя кенотронами.

* На фиг. 8, 10 и 13 изображены схемы выпрямителей, в которых накал кенотрона осуществляется специальной батареей накала. Это сделано для того, чтобы при рассмотрении принципа действия выпрямителя не вводить осложнений. В действительности накал кенотронов осуществляется также переменным током через трансформатор.

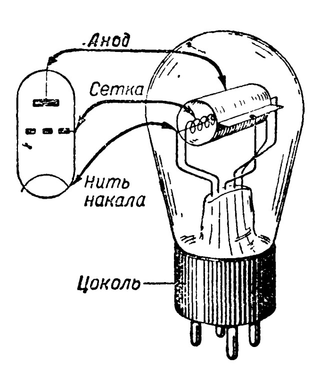
Двуханодные кенотроны как с раздельными, так и с общим катодом, хотя и имеют более чем два электрода (два анода и два или один катод), однако относятся к классу двухэлектродных ламп, так как они представляют собой как бы две двухэлектродные лампы, заключенные в один общий баллон.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЕ И МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

6. ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА

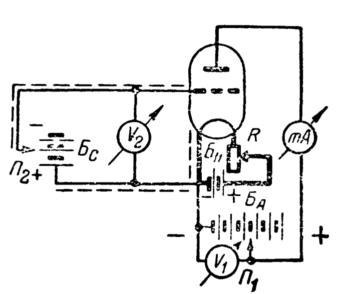
Возможности применения двухэлектродной лампы очень ограничены и исчерпываются использованием ее в качестве выпрямителя и детектора. Это обусловлено тем, что в диодах один и тот же электрод (анод) служит и для поддержания электронного тока и для управления им. Если в электронной лампе разделить эти две задачи между различными электродами, т. е. кроме анода, поддерживающего электронный ток, ввести еще один электрод, который будет управлять анодным током, то электронная лампа позволяет решить ряд других важных задач, в частности осуществить усиление электрических колебаний. Этот третий электрод, служащий для управления анодным током и находящийся между нитью накала и анодом, называется сеткой. Введение сетки превращает лампу в трехэлектродную, или в триод (фиг. 14). Хотя в современной радиотехнике трехэлектродные лампы уже в значительной мере вытеснены лампами с бóльшим числом электродов, все же триод является основным типом электронной лампы. Многоэлектродные лампы являются лишь в том или ином отношении усовершенствованием трехэлектродной лампы. Поэтому трехэлектродной лампе в данной книге будет уделено много места. После того как будут подробно рассмотрены трехэлектродная лампа и ее применения, уже нетрудно будет рассмотреть устройство много-



Фиг. 14. Третий электрод—сетка помещается между нитью накала и анодом.

электродных ламп и выяснить те преимущества, которыми они обладают по сравнению с трехэлектродной.

Итак, сетка трехэлектродной лампы служит для управления ее анодным током. Чтобы сетка наилучшим образом выполняла это назначение, ее помещают возможно ближе к катоду, причем так, чтобы она охватывала катод. Кроме того, чтобы электроны, вылетающие из нити, могли попадать на анод, сетку делают не сплошной, а в виде не очень густой проволочной спирали или сетки, отсюда этот электрод и получил свое название. Если в двухэлектродной лампе сила анодного тока определяется только величиной анодного напряжения, то в трехэлектродной лампе сила этого тока зависит как от величины анодного напряжения, так и от величины и знака напряжения, приложенного между катодом и сеткой. При этом сеточное напряжение гораздо сильнее влияет на величину анодного тока, чем анодное, так как сетка расположена к катоду гораздо ближе, чем анод.



Фиг. 15. Цепь накала обозначена жирными линиями, цепь анода — тонкими и цепь сетки — тонкими линиями и пунктиром.

На фиг. 15 схематически изображены электрические цепи трехэлектродной лампы. В цепи сетки и анода включены соответствующие измерительные приборы для того, чтобы иметь возможность проследить влияние анодного и сеточного напряжений на силу анодного тока.

Цепь накала, обозначенная на фиг. 15 жирными линиями, состоит из батареи накала $Б_н$, реостата R и самой нити лампы. Назначение реостата R заключается в том, чтобы можно было, пользуясь им, установить силу тока накала, требуемую для данной лампы.

В анодную цепь, обозначенную тонкими линиями, входят анодная батарея $Б_А$ с присоединенным к ней параллельно вольтметром V_1, миллиамперметр mA и междуэлектродное пространство, т. е. промежуток анод — катод внутри лампы.

Для изменения величины анодного напряжения служит переключатель $П_1$, при помощи которого включается в анодную цепь большее или меньшее число элементов батареи $Б_А$.

Вольтметр и миллиамперметр предназначаются для измерения анодного напряжения и анодного тока.

Цепь сетки, обозначенная на фиг. 15 тонкими линиями, обведенными пунктиром, включает в себя батарею сетки $Б_c$ с присоединенным к ней параллельно вольтметром V_2 и междуэлектродное пространство сетка — катод внутри лампы.

Так же как и анодное напряжение, величину напряжения, подводимого к сетке, можно изменять при помощи переключателя $П_2$. Вольтметр дает возможность измерять величину напряжения между сеткой и катодом лампы.

Включив анодное напряжение и напряжение накала, мы заметим, что в анодной цепи лампы появится электрический ток.

При нормальном напряжении накала катод излучает такое большое число электронов, что анод при любой величине анодного напряжения (лежащей в пределах нормальных напряжений для лампы данного типа) не будет в состоянии притягивать к себе все электроны, вылетающие из катода. Поэтому вокруг катода будет существовать «электронное облако».

Включим теперь в цепь сетки небольшую часть сеточной батареи $Б_c$. При такой полярности, которая указана на фиг. 15, батарея $Б_c$ создаст на сетке отрицательное напряжение по отношению к катоду. Возникшее вследствие этого электрическое поле между сеткой и катодом будет направлено навстречу тому полю, которое существует между анодом и катодом. Следовательно, результирующее электрическое поле у катода будет меньше, чем в том случае, когда напряжение на сетке отсутствовало. Оно будет захватывать меньшее число электронов, вылетающих из катода, и сила анодного тока в лампе уменьшится.

Будем теперь повышать анодное напряжение до тех пор, пока результирующее электрическое поле у катода не достигнет той же величины, какую оно имело, когда напряжение на сетке отсутствовало. Тогда, очевидно, и анодный ток возрастет до начальной величины.

Оказывается, для того чтобы довести силу анодного тока до прежней величины, нам придется повысить анодное напряжение на величину, во много раз превышающую напряжение, приложенное к сетке.

Другими словами, сила анодного тока в большей степени зависит от сеточного напряжения, чем от анодного. Иначе это можно формулировать так: каждый вольт сеточ-

ного напряжения по своему действию на силу анодного тока равноценен многим вольтам анодного напряжения.

В разобранном примере находящаяся под отрицательным напряжением сетка уменьшала электрическое поле у катода и тем самым уменьшала анодный ток. Если же включить сеточную батарею $Б_с$ наоборот, т. е. минусом к катоду, а плюсом к сетке, то поле сетки будет направлено в ту же сторону, что и поле анода, результирующее электрическое поле у катода усилится и анодный ток возрастет.

Чтобы уменьшить анодный ток до значения, которого он достигал при выключенной батарее сетки, придется уменьшить анодное напряжение на величину, в несколько раз превышающую напряжение на сетке. Таким образом, и в этом случае на величину анодного тока сильнее влияет сеточное напряжение, чем анодное. Каждый вольт сеточного напряжения влияет на величину анодного тока так же, как многие вольты напряжения на аноде.

Причина более сильного влияния сеточного напряжения (по сравнению с анодным) на величину анодного тока заключается в том, что сетка расположена ближе к катоду, чем анод. Вследствие этого подводимые к ней напряжения создают около катода более сильное электрическое поле, чем такие же напряжения, подводимые к аноду. А число электронов, захватываемых электрическим полем из электронного облака, определяется именно тем, насколько сильно это поле около катода. Поэтому напряжение, подводимое к сетке, будет гораздо сильнее влиять на величину анодного тока, чем такое же напряжение, подведенное к аноду.

Таким образом, подводя к сетке то или иное напряжение, величину которого можно изменять, мы можем управлять силой анодного тока. Управлять силой анодного тока этим путем гораздо «легче», чем изменением напряжения на аноде, так как, для того чтобы вызвать то или иное изменение анодного тока, нужно, как мы видели, во много раз меньше изменить напряжение на сетке, чем на аноде.

Вместе с тем управление силой анодного тока путем изменения напряжения на сетке принципиально не требует расхода энергии источника, создающего это управляющее напряжение на сетке (в то время как энергия источника анодного напряжения все время расходуется на поддержание анодного тока).

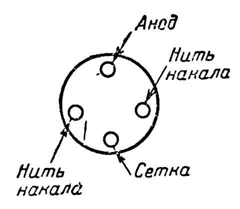
Нетрудно в этом убедиться, рассмотрев более детально картину движения электронов в электрических полях, создаваемых анодом и сеткой. Положим сначала, что напря-

жение на сетке равно нулю и, значит, электрическое поле сетки отсутствует. Тогда электроны движутся только под действием поля анода. Так как они движутся к аноду с ускорением, их кинетическая энергия возрастает, причем электроны приобретают эту энергию за счет работы электрического поля анода, т. е. за счет энергии источника анодного напряжения Положим теперь, что на сетке существует некоторое постоянное напряжение и, следовательно, на электроны действует электрическое поле сетки Для определенности будем считать, что напряжение на сетке положительно. Тогда на участке катод — сетка эта последняя притягивает электроны и, следовательно, их скорость возрастает.

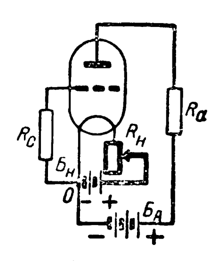
Электроны достигают сетки со скоростью большей, чем та, с которой они достигали сетки в отсутствие напряжения на ней. Но после того, как электроны пролетели сквозь заряженную положительно сетку, она, продолжая притягивать электроны к себе, будет теперь замедлять, а не ускорять их полет. Если напряжение на сетке не изменяется, то, значит, сетка настолько же замедляет электроны, удаляющиеся от нее, насколько ускоряет электроны, приближающиеся к ней. И хотя сетка находится под напряжением, электроны достигают анода с той же скоростью (определяемой только напряжением на аноде), с какой они достигали бы анода при отсутствии напряжения на сетке. Нетрудно видеть, что также обстоит дело и в случае отрицательного напряжения на сетке. А если сетка не изменяет конечной скорости, а значит, и конечной кинетической энергии электронов, то, очевидно, источник приложенного к сетке напряжения не затрачивает энергии на ускорение электронов. Таким образом, пока напряжение на сетке постоянно, принципиально управление анодным током может происходить без затраты энергии источника управляющего напряжения, приложенного к сетке. И, значит, в этих случаях электронная лампа является прибором, в котором не только может быть осуществлено управление анодным током, но это управление принципиально не требует затраты энергии. Практически, однако, при изменении напряжения на сетке дело обстоит сложнее: на управление анодным током все же затрачивается некоторая энергия источника управляющего напряжения, так как это напряжение не только управляет силой анодного тока, но и создает токи в цепи сетки и во внешней цепи, включенной между сеткой и катодом. Но пока частота изменения напряжения на сетке не слишком велика, токи в цепях сетки будут весьма малы и, значит, управление си-

лой анодного тока может осуществляться с затратой очень малой энергии. В этом и заключается одно из основных свойств электронной лампы, позволяющих применить ее в качестве усилителя [1].

Третий электрод, введенный в электронную лампу, несколько усложняет ее конструкцию, а вместе с тем и способы включения. От нити, как и в диодах, должны быть сделаны два вывода, через которые к ней подводится ток накала Кроме этого каждый из двух других электродов лампы также должен иметь вывод наружу для присоединения к внешним цепям. Следовательно, трехэлектродная лампа должна иметь всего четыре вывода. Они обычно присоединяются к четырем ножкам, укрепленным на цоколе лампы. Для того чтобы отдельные выводы можно было отличить друг от друга, ножки на цоколе располагаются в определенном порядке. Для иллюстрации на фиг. 16 изображено расположение ножек на цоколе простейших стеклянных трехэлектродных ламп типов УБ-107, УБ-110 и др.



Фиг. 16. Цоколь простейшей трехэлектродной лампы.



Фиг. 17. Во всякой схеме с трехэлектродной лампой существуют три основные цепи — цепь накала, цепь сетки и цепь анода.

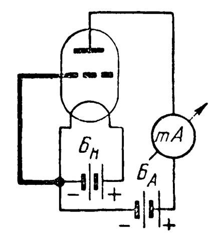
Во всякой схеме с трехэлектродной лампой следует различать три основные цепи (фиг. 17): цепь накала, состоящую из нити накала с присоединенным к ней источником накала, в данном случае батареей накала $Б_н$, и реостатом накала $R_н$; цепь сетки, состоящую из промежутка сетка—

[1] При очень высоких частотах усиливаемых напряжений, когда за время пролета электрона от катода до анода напряжение на сетке успевает заметно измениться, дело обстоит иначе. Может, например, случиться, что в момент пролета электрона через сетку напряжение на ней меняет знак и из положительного становится отрицательным. Тогда, притягивая приближающийся электрон и отталкивая удаляющийся, сетка все время его ускоряет, т. е. увеличивает его кинетическую энергию. В таких случаях, очевидно, управление силой анодного тока принципиально требует затраты энергии источником управляющего напряжения, подаваемого на сетку. Именно это обстоятельство и является главной причиной того, что обычные электронные лампы непригодны для усиления электрических колебаний очень высоких частот (которым соответствует волна короче 2—3 *м*).

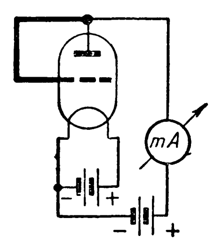
катод внутри лампы и включенной между сеткой и катодом внешней цепью (в нашей схеме внешнюю цепь образует сопротивление R_c), и, наконец, цепь анода, состоящую из промежутка анод — катод внутри лампы и включенной между анодом и катодом внешней цепи (состоящей в нашем примере из сопротивления R_a, так называемой «анодной нагрузки» и источника анодного напряжения, в данном случае анодной батареи $Б_А$). Точку O, в которой сходятся эти три цепи (обычно это отрицательный полюс батареи накала), называют нулевой точкой схемы. В дальнейшем мы более подробно познакомимся с тем, в каких условиях и какие токи могут проходить в цепи сетки и в цепи анода и какую роль играют отдельные элементы, входящие в эти цепи. Сейчас же мы перейдем к рассмотрению характеристик трехэлектродной лампы.

7. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПЫ

Характеристика трехэлектродной лампы вследствие наличия третьего электрода — сетки — существенно отличается от характеристики двухэлектродной лампы. Если соеди-



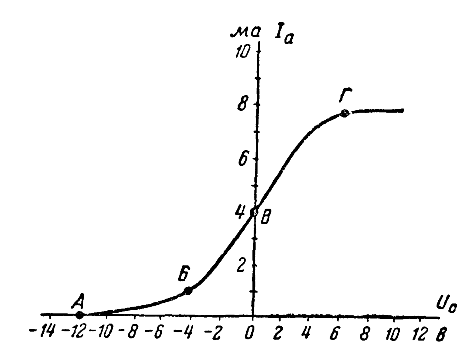
Фиг. 18. Присоединение сетки к нити накала превращает трехэлектродную лампу в двухэлектродную с большим внутренним сопротивлением.



Фиг. 19. Присоединение сетки к аноду лампы также превращает трехэлектродную лампу в двухэлектродную, но с меньшим внутренним сопротивлением.

нить сетку накоротко с катодом (фиг. 18) или с анодом лампы (фиг. 19), то трехэлектродная лампа обладала бы теми же свойствами, что и двухэлектродная, так как сетка не представляла бы собой самостоятельного электрода, а являлась бы только частью одного из двух упомянутых электродов лампы. В этом случае мы получили бы характеристики анодного тока, подобные характеристикам двух-

электродных ламп. Такое включение лампы с закороченной (на анод или катод) сеткой применяется, когда трехэлектродную лампу нужно использовать вместо диода. При этом, так как напряжение на сетке влияет на анодный ток гораздо сильнее, чем напряжение на аноде, в триоде с сеткой, закороченной на анод, анодный ток будет гораздо сильнее, чем в триоде с сеткой, закороченной на катод, при одном и том же напряжении на аноде. Иначе говоря, триод с сеткой, закороченной на анод, будет представлять собой диод с гораздо меньшим внутренним сопротивлением, чем триод с сеткой, закороченной на катод.



Фиг. 20. Анодно сеточная характеристика лампы показывает зависимость анодного тока от напряжения на сетке.

Когда сетка не соединена накоротко с одним из двух электродов лампы и к ней подводится какое-либо определенное напряжение от постороннего источника, то изменение этого напряжения будет вызывать изменения и силы анодного тока. Эту зависимость между напряжением на сетке и силой анодного тока и дают так называемые сеточные характеристики анодного тока трехэлектродной лампы, или, короче, анодно-сеточные характеристики. Эти анодно-сеточные характеристики следует отличать от уже встречавшихся раньше анодных характеристик, которые изображают зависимость анодного тока от напряжения на аноде лампы.

Посмотрим, какой вид должна иметь анодно-сеточная характеристика трехэлектродной лампы. Отложим на горизонтальной оси (ось абсцисс) напряжения $U_г$, подводимые к сетке лампы (в вольтах), а на вертикальной оси (ось ординат) — силу анодного тока I_a (в миллиамперах) и будем наносить на этот график отдельные точки характеристики трехэлектродной лампы (фиг. 20). Будем рассматривать случай, когда напряжение на аноде лампы остается все время неизменным (например, 200 *в*), а изменяется только величина напряжения, подводимого к сетке. Чем больше будет отрицательное напряжение, подводимое к сетке, тем

слабее будет результирующее (создаваемое одновременно сеткой и анодом) электрическое поле у катода и, следовательно, тем слабее будет анодный ток. При некотором достаточно большом отрицательном напряжении на сетке препятствующее движению электронов поле сетки будет у катода сильнее, чем способствующее их движению поле анода. При этом анодный ток в лампе вовсе прекратится. Для этого, как уже указывалось, препятствующее напряжение на сетке должно быть значительно меньше, чем способствующее анодное напряжение, так как сетка расположена ближе к катоду, и поэтому, чтобы создать одинаковые по величине электрические поля у катода, требуются напряжения на сетке, меньшие, чем напряжения на аноде. Положим, что это происходит при напряжении в —12 *в*. Значит, в этой точке на оси абсцисс будет лежать начало характеристики (точка *А* на фиг. 20). При уменьшении величины отрицательного напряжения на сетке появится некоторый анодный ток, сначала небольшой, а затем постепенно увеличивающийся. Это увеличение анодного тока сначала идет медленно, примерно до точки *Б*, а затем происходит значительно быстрее. Если мы будем дальше понижать отрицательное напряжение на сетке, то сила анодного тока будет возрастать примерно пропорционально изменению напряжения, и в этой части характеристика будет представлять почти прямую линию.

Эта часть характеристики лампы так и называется «прямолинейной частью характеристики». Положим, что в тот момент, когда отрицательное напряжение на сетке уменьшено до нуля, величина анодного тока будет составлять 4 *ма* (точка *В* характеристики). Этот анодный ток называется нулевым током, так как ему соответствует нулевое напряжение на сетке лампы. Для снятия точек характеристики в другую сторону от точки *В* к сетке нужно подводить уже не отрицательные, а положительные напряжения. С увеличением этих положительных напряжений, будет усиливаться результирующее поле у катода и возрастать анодный ток. Следовательно, от точки *В* характеристика будет продолжать подниматься кверху при увеличении положительного напряжения на сетке. Однако, как мы уже знаем, анодный ток не может возрастать выше определенного предела. Когда все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться электрическим полем сетки и анода и переноситься на анод, тогда наступит насыщение. Дальнейшее увеличение напряжения на сетке уже не вызовет возраста-

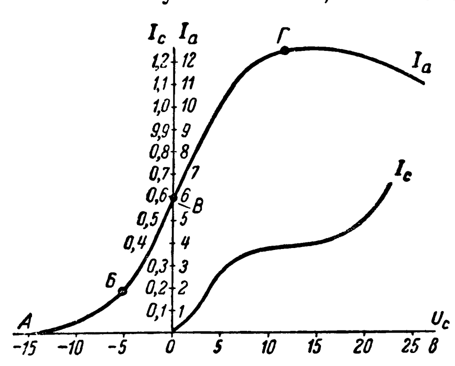
ния анодного тока. Характеристика перестанет подниматься кверху, а пойдет параллельно оси абсцисс. Положим, что ток насыщения лампы составляет 8 *ма* и что анодный ток достигнет этой величины при положительном напряжении на сетке, равном 6 *в* (точка *Г* характеристики). Это и будет точка перегиба, дальше которой характеристика пойдет горизонтально. Таков в общих чертах вид анодно-сеточной характеристики трехэлектродной лампы.

При построении анодно-сеточной характеристики мы принимали во внимание только напряжение, подводимое к сетке лампы, но не рассматривали вопроса о том, существует ли ток в цепи сетки. Выясним, в каких случаях возможно появление тока в цепи сетки.

Пока к сетке подведено отрицательное напряжение, она отталкивает электроны, пролетающие мимо нее, и, значит, они не попадают на провода сетки. Вследствие этого при отрицательном напряжении на сетке тока в ее цепи нет. Но картина существенно изменится, если к сетке подведено положительное напряжение. В этом случае сетка притягивает к себе электроны, и часть электронов может попасть на ее провода. Электроны, попадающие на провода сетки, будут через цепь сетки возвращаться к нити и, следовательно, во внешней цепи сетки будет проходить электрический ток, направленный от нити к сетке (электроны движутся от сетки к нити). Вследствие того, что сетка представляет собой сравнительно редкую проволочную спираль или сетку, значительная часть электронов пролетит сквозь отверстия сетки к аноду и только небольшое число их попадет на провода сетки. Поэтому сила тока в цепи сетки будет гораздо меньше, чем в цепи анода, если напряжения на сетке не очень велики. Но все же ток в цепи сетки будет все время возрастать по мере увеличения положительного напряжения на сетке.

После всего сказанного легко построить характеристику тока сетки I_c в зависимости от напряжения на сетке или так называемую сеточную характеристику трехэлектродной лампы (фиг. 21). Эта характеристика начинается примерно от нуля и затем постепенно поднимается при повышении положительного напряжения на сетке. Когда ток анода достигнет тока насыщения, ток в цепи сетки будет иметь некоторую определенную величину (ток сетки на графике изображен в увеличенном масштабе по сравнению с анодным током). Оба эти тока — анодный и сеточный — образуются электронами, вылетающими из нити, и, следователь-

но, полный ток, отдаваемый нитью (ток эмиссии), равен сумме сеточного и анодного токов. Пока напряжения на сетке невелики, величина сеточного тока также невелика, и поэтому приблизительно можно считать, что ток анода при насыщении равен полному току эмиссии. Но если напряжение на сетке будет повышаться дальше, то это предположение станет неправильным. Ток сетки будет возрастать, и так как ток эмиссии остается постоянным (он определяется только накалом нити), то, очевидно, анодный ток начнет уменьшаться, так как из общего числа электронов, остающегося постоянным, все большая и большая часть попадает на сетку, а значит, все меньшая и меньшая — на анод. Следовательно, при дальнейшем повышении положительного напряжения на сетке ток сетки начнет возрастать, а анодный ток — спадать. Этому соответствует участок за точкой *Г* анодно-сеточной характеристики, который называется «спадающей частью характеристики».



Фиг. 21. Сеточная характеристика лампы показывает зависимость сеточного тока от напряжения на сетке.

Спадание анодного тока на этом участке усиливается вследствие возникновения еще одного явления, так называемой вторичной эмиссии, которое состоит в следующем. Электроны, движущиеся к аноду, приобретают во время движения значительную скорость и, ударяясь об анод, отдают ему ту кинетическую энергию, которой они обладают. Энергия эта частью превращается в тепло (поэтому при сильном анодном токе анод накаливается), а часть ее при известных условиях может пойти на освобождение из поверхности анода новых, так называемых «вторичных» электронов. Это явление — выделение анодом вторичных электронов под влиянием электронной бомбардировки — и называется вторичной эмиссией. В том случае, когда напряжение на аноде больше, чем напряжение на сетке, вторичная эмиссия не играет существенной роли, так как все вторичные электроны, выле-

тевшие с поверхности анода, притягиваются электрическим полем анода и возвращаются обратно.

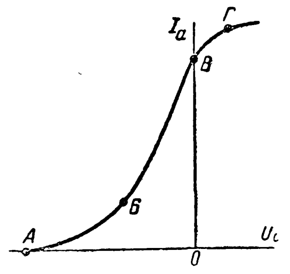
Совсем иная картина получится, если напряжение на аноде будет меньше, чем напряжение на сетке. В таком случае электрическое поле между сеткой и анодом будет направлено от сетки к аноду. Вторичные электроны, вылетевшие из анода, будут притягиваться этим полем к сетке, в результате чего в ее цепи появится добавочный ток, а анодный ток уменьшится (так как анодный ток будет определяться разностью между числом электронов, попавших за секунду на анод, и числом вторичных электронов, за то же время выбитых с поверхности анода). Появление электронного тока, образованного вторичными электронами, носит название динатронного эффекта. Вследствие динатронного эффекта спадание анодного тока в области больших положительных напряжений на сетке становится еще более сильным и на анодно-сеточной характеристике в этой области получается еще более круто спадающий участок.

Однако в обычных условиях работы трехэлектродной лампы напряжения на сетке бывают невелики, динатронный эффект не возникает, поэтому на падающем участке характеристики работать не приходится и в большинстве случаев работа лампы протекает только на участке характеристики до тока насыщения, т. е. слева от точки *Г*. Только в некоторых специальных случаях работы трехэлектродной лампы, когда напряжения на сетке могут оказаться очень большими, а также в некоторых многоэлектродных лампах приходится принимать во внимание динатронный эффект и обусловленную им спадающую часть анодно-сеточной характеристики.

Как мы увидим ниже, в большинстве схем наличие тока сетки ухудшает работу схемы. Поэтому обычно приходится принимать меры к его устранению. Путь к этому ясен — нужно сетку поставить в такие условия, чтобы напряжения на ней всегда были отрицательны, т. е. задать на сетку некоторое постоянное отрицательное напряжение (так называемое отрицательное смещение), настолько большое, чтобы даже при наибольшем положительном значении переменного напряжения, подаваемого на сетку, результирующее напряжение на ней все же оставалось отрицательным. Но, с другой стороны, для нормальной работы лампы обычно анодный ток при отсутствии переменных напряжений на сетке (так называемый ток покоя) должен иметь некоторую не слишком малую величину. Поэтому большим преимуще-

ством всякой приемной лампы считается наличие у нее «левой характеристики», т. е. такой характеристики, вся прямолинейная часть которой (участок *БГ*) при нормальном анодном напряжении лежит в области отрицательных напряжений на сетке, как на фиг. 22. Лампа, обладающая такой характеристикой, при подаче соответствующего отрицательного напряжения на сетку будет работать при полном отсутствии сеточного тока.

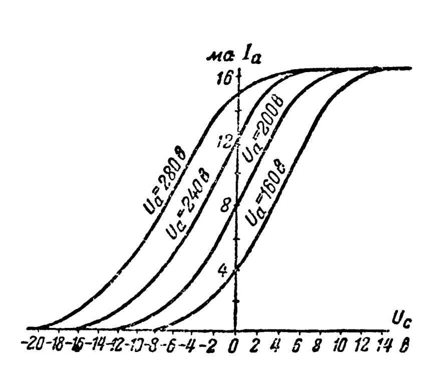
При построении анодно-сеточной характеристики, приведенной на фиг. 20, мы предполагали, что на лампу подано некоторое постоянное анодное напряжение, которое мы приняли равным 200 *в*. Посмотрим теперь, как изменится картина, если мы повысим анодное напряжение, например, до 240 *в*. Очевидно, что, в этом случае при напряжении на сетке в —12 *в* в анодной цепи будет еще протекать некоторый ток, так как при меньшем анодном напряжении и при том же напряжении на сетке ток в анодной цепи только появлялся. Если отрицательное напряжение в —12 *в* оказалось достаточным для того, чтобы противодействовать анодному напряжению в 200 *в*, то это напряжение будет мало для того, чтобы противодействовать анодному напряжению в 240 *в*. Поэтому при анодном напряжении в 240 *в* отрицательное напряжение на сетке, при котором прекращается анодный ток, должно быть несколько больше. Положим, что это напряжение составляет —16 *в*. Начиная от этой точки, при уменьшении напряжения на сетке анодно-сеточная характеристика лампы пойдет так же, как и в случае напряжения в 200 *в* (фиг. 23), но останется все время сдвинутой влево по отношению к характеристике, соответствующей напряжению в 200 *в*. Очевидно, что и при отсутствии напряжения на сетке в случае анодного напряжения в 240 *в* анодный ток (нулевой ток) будет больше, чем при напряжении в 200 *в*. Словом, до самого конца (пока не будет достигнут ток насыщения) характеристика, относящаяся к 240 *в*, будет проходить выше характеристики, относящейся к 200 *в*. Значение же тока насыщения для обоих случаев будет примерно одно и то же. Таким образом, увеличение анодного напря-



Фиг. 22. Такая характеристика называется „левой", так как она почти вся расположена слева от точки $U_c=0$.

жения приводит к тому, что вся характеристика целиком сдвигается влево. При уменьшении анодного напряжения, например, до 160 *в* мы получим обратную картину: анодные токи при данных напряжениях на сетке будут соответственно меньше, чем при анодном напряжении в 200 *в*. Таким образом, уменьшение анодного напряжения приводит к тому, что характеристика сдвигается вправо.

Снимая анодно-сеточные характеристики трехэлектродной лампы при разных анодных напряжениях, мы получим ряд характеристик лампы, которые принято называть «се-



Фиг. 23. Семейство анодно-сеточных характеристик. Повышение анодного напряжения сдвигает характеристику влево.

Фиг. 24. Часть семейства анодно-сеточных характеристик фиг. 23 в увеличенном масштабе.

мейством» анодно-сеточных характеристик. Такое семейство характеристик и изображено на фиг. 23. Около каждой характеристики указано анодное напряжение, при котором эта характеристика снята.

Располагая семейством анодно-сеточных характеристик лампы, можно сделать выводы об основных свойствах трехэлектродной лампы. Свойства эти удобнее всего характеризовать при помощи трех основных величин, так называемых основных параметров лампы. Эти три основных параметра ламп и могут быть определены непосредственно из семейства характеристик лампы.

В качестве примера определим параметры лампы, семейство характеристик которой приведено на фиг. 23. Чтобы удобнее было производить отсчеты, на фиг. 24 приведен один участок характеристик этого семейства в увеличенном масштабе.

Первый из этих параметров лампы — это так называемая крутизна характеристики, которая показывает, как круто поднимается характеристика кверху, т. е. насколько увеличивается анодный ток в лампе при увеличении напряжения на сетке. Крутизна характеристики определяется отношением увеличения силы анодного тока к вызвавшему его увеличение напряжению на сетке (при условии, что анодное напряжение остается неизменным), или иначе — крутизна характеристики равна увеличению анодного тока при увеличении напряжения на сетке на 1 *в*. Так как анодный ток измеряется обычно в миллиамперах, то крутизну характеристик принято определять в миллиамперах на вольт. Крутизна характеристики обозначается буквой S. Для лампы, семейство характеристик которой приведено на фиг. 24, как легко подсчитать, крутизна характеристики в средней прямолинейной части составляет 1 *ма/в*. Действительно, в средней части характеристик при изменении напряжения на сетке на 1 *в* сила анодного тока изменяется на 1 *ма*, т. е.

$$S = 1 \text{ ма/в}.$$

Вторым из основных параметров лампы является коэффициент усиления лампы, который показывает, во сколько раз в данной лампе сеточное напряжение действует на анодный ток сильнее, чем анодное напряжение. Коэффициент усиления обозначается греческой буквой μ, и так как он представляет собой отношение двух напряжений, то является величиной отвлеченной.

Если, например, увеличение анодного напряжения на 10 *в* и увеличение сеточного напряжения на 1 *в* дают один и тот же прирост анодного тока, то значит сеточное напряжение по своему действию на анодный ток в 10 раз сильнее анодного. Следовательно, коэффициент усиления данной лампы $\mu = 10$.

Коэффициент усиления лампы по семейству анодно-сеточных характеристик удобно определять следующим образом. Рассчитывают, на сколько вольт нужно изменить анодное напряжение, чтобы характеристика лампы сдвинулась по горизонтали (вправо или влево) на величину, соответствующую 1 *в* сеточного напряжения. Обычно анодно-сеточные характеристики снимают при анодных напряжениях, отличающихся значительно одно от другого, например, при разнице в 40 *в*, как это сделано для случая, приведенного на фиг. 24. Для того чтобы определить коэффициент усиления лампы по этому семейству характеристик,

нужно взять отношение разности анодных напряжений, при которых были сняты две соседние характеристики, к величине, на которую по оси абсцисс смещены эти характеристики друг относительно друга. Для случая, приведенного на фиг. 24, характеристика для 200 *в* сдвинута относительно характеристики для 160 *в* по оси абсцисс на 4 *в* (считаем по масштабу, отложенному на оси абсцисс). Значит, коэффициент усиления лампы составляет:

$$\mu = \frac{200 - 160}{4} = \frac{40}{4} = 10.$$

Третий из основных параметров лампы — это ее внутреннее сопротивление. Величина внутреннего сопротивления лампы показывает, насколько увеличивается анодный ток с увеличением анодного напряжения при условии, что напряжение на сетке остается постоянным. Отношение увеличения анодного напряжения к вызываемому им увеличению анодного тока и называется внутренним сопротивлением лампы. Как и всякое отношение напряжения к силе тока, внутреннее сопротивление лампы выражается в омах, обозначается оно обычно через R_i. В нашем случае (фиг. 24) повышение анодного напряжения на 40 *в* вызывает (при постоянном напряжении на сетке, например, равном нулю) увеличение анодного тока на 4 *ма*, т. е. на 0,004 *а*. Разделив напряжение в 40 *в* на силу тока в 0,004 *а*, мы получим, что внутреннее сопротивление лампы равно:

$$R_i = 10\,000 \text{ ом}.$$

Внутреннее сопротивление лампы, определяемое как отношение изменений напряжения на аноде и силы анодного тока, представляет собой то сопротивление, которым обладает лампа для переменной составляющей анодного тока.

Три основных параметра лампы — крутизна характеристики S, коэффициент усиления μ и внутреннее сопротивление R_i — не являются независимыми. Для всякой трехэлектродной лампы существует вполне определенное соотношение между этими параметрами. Это соотношение, справедливое для всех трехэлектродных ламп, независимо от их конструкции заключается в том, что произведение крутизны и внутреннего сопротивления равно коэффициенту усиления, т. е.

$$SR_i = \mu.$$

Этим соотношением можно пользоваться для определения одного из параметров, когда два других известны. Так, в нашем примере, вычислив S и μ, мы могли бы воспользоваться тем, что

$$R_i = \frac{\mu}{S},$$

и найти R_i по S и μ, не определяя его по характеристикам. Так как в нашем примере

$$S = 1 \textit{ ма/в} = 0{,}001 \textit{ а/в} \text{ и } \mu = 10,$$

то

$$R_i = \frac{10}{0{,}001} = 10\,000 \textit{ ом},$$

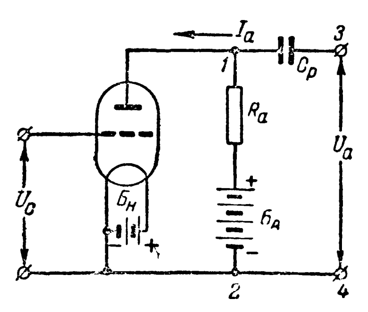
т. е. та же величина, которую мы нашли по семейству характеристик.

Величины трех основных параметров трехэлектродной лампы могут значительно отличаться от тех, которые приведены в нашем примере. В зависимости от назначения выпускаются лампы, например, с большой крутизной характеристики, достигающей в некоторых лампах 5 *ма/в* и даже больше, или лампы с большим коэффициентом усиления — порядка 30 и больше. По величинам основных параметров лампы, которые приводятся во всех справочниках наряду с другими данными (напряжениями на электродах и т. д.), можно судить о том, для какой цели пригодна данная лампа и какой эффект она может дать. В частности, величины основных параметров трехэлектродной лампы дают представление о том, какое усиление можно получить от этой лампы, когда она применяется в качестве усилителя переменных электрических напряжений. Однако усиление, которое может дать лампа, зависит не только от величины ее параметров, но и от параметров тех внешних цепей, которые присоединены к лампе. Этот вопрос будет рассмотрен ниже.

8. ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА КАК УСИЛИТЕЛЬ

Одной из важнейших областей применения электронной лампы является усиление переменных электрических напряжений. Хотя для целей усиления сейчас обычно применяются не трехэлектродные, а многоэлектродные лампы, но самый принцип работы электронной лампы как усилителя лучше всего выясняется при рассмотрении усилительного действия трехэлектродной лампы.

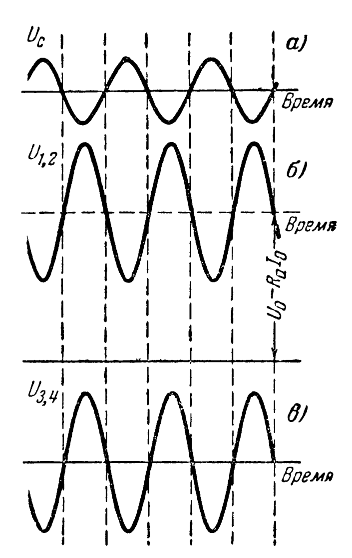
Усилительное действие трехэлектродной лампы, как уже указывалось, основано на том, что напряжение, приложенное к сетке, сильнее влияет на величину анодного тока, чем напряжение, приложенное к аноду. Рассмотрим теперь на конкретном примере, как это свойство электронной лампы может быть применено для усиления электрических напряжений. Пусть между сеткой и катодом трехэлектродной лампы приложено некоторое переменное напряжение U_c. Для того чтобы получить от лампы переменное напряжение, усиленное в то или иное число раз, в анодную цепь лампы помимо источника напряжения включают некоторое сопротивление — анодную нагрузку R_a (фиг. 25).



Фиг. 25. Простейшая схема усилителя. Усиленное переменное напряжение, возникающее на анодной нагрузке, снимается между точками *3* и *4*.

Под действием переменного напряжения на сетке U_c сила анодного тока I_a будет изменяться. Вследствие изменений силы анодного тока будет изменяться и падение напряжения, создаваемое этим током на анодной нагрузке R_a. Значит, будет изменяться и полное напряжение между точками *1* и *2*, которое равно постоянному напряжению U_0, даваемому батареей $Б_А$, минус падение напряжения на сопротивлении R_a, равное $I_a R_a$. При этом, когда напряжение на сетке положительно, анодный ток возрастет, вместе с тем возрастет и падение напряжения на сопротивлении R_a, а, значит, напряжение $U_{1,2}$ между точками *1* и *2* уменьшится. Наоборот, когда напряжение на сетке отрицательно, анодный ток уменьшится, падение напряжения на сопротивлении R_a также уменьшится и напряжение $U_{1,2}$ между точками *1* и *2* возрастет. Таким образом, в соответствии с изменениями напряжения на сетке U_c будет изменяться и напряжение $U_{1,2}$ между точками *1* и *2*, причем эти изменения будут происходить около некоторого среднего значения, равного $U_0 - R_a I_0$, где I_0 — анодный ток при отсутствии переменного напряжения на сетке, т. е. ток покоя лампы.

Связь между изменениями напряжения U_c и напряжения $U_{1,2}$ изображена графически на фиг. 26, где кривая *а* изображает изменения во времени напряжения U_c, а кривая *б* — одновременные изменения напряжения $U_{1,2}$. Если мы будем снимать напряжения не непосредственно с точек *1* и *2*, а через разделительный конденсатор C_p (фиг. 25), то он не пропустит постоянного напряжения $U_0 - R_a I_0$, около которого происходят изменения напряжения $U_{1,2}$, а пропустит только переменную часть (переменную составляющую) этого напряжения. Следовательно, между точками *3* и *4* получится переменное напряжение U_a, изображенное графически кривой *в* на фиг. 26. Это переменное напряжение будет изменяться в такт с изменениями напряжения U_c, но, во-первых, эти изменения будут противоположны по фазе (когда напряжение на сетке положительно, напряжение в точке *3* отрицательно и, наоборот) и, во-вторых, напряжение U_a по величине будет, вообще говоря, отлично от напряжения U_c.



Фиг. 26. Напряжение, снимаемое с лампы (кривая *в*), противоположно по фазе напряжению, подводимому к лампе (кривая *а*), и отличается от него по величине.

Таким образом, с анодной нагрузки R_a может быть снято переменное напряжение U_a, подобное напряжению на сетке U_c, но противоположное U_c по фазе и отличное от него по величине. Если напряжение U_a будет больше, чем U_c, то, значит, лампа будет усиливать подводимые к ней напряжения.

Посмотрим теперь, при каких условиях лампа будет усиливать подводимые к ее сетке напряжения и во сколько раз эти напряжения могут быть усилены.

Если бы мы знали, какие изменения анодного тока вызываются изменениями напряжения на сетке, то мы могли бы сразу ответить на поставленный вопрос, так как напря-

жение U_a равно изменению анодного тока, умноженному на сопротивление анодной нагрузки R_a. Казалось бы, что изменения анодного тока, обусловленные данными изменениями напряжения на сетке, мы могли бы определить по анодно-сеточной характеристике лампы. Однако в действительности дело обстоит не так просто. Ведь анодно-сеточные характеристики дают возможность определять, как изменяется сила анодного тока при данных изменениях напряжения на сетке и при неизменном напряжении на аноде. Но напряжение на аноде оставалось бы неизменным, несмотря на изменения анодного тока, только в том случае, если бы анодная батарея была присоединена непосредственно к аноду лампы. Между тем в нашей схеме анодная батарея присоединена к аноду через анодную нагрузку R_a, которая служит для того, чтобы снимать с лампы переменное напряжение (если бы R_a отсутствовало, то за счет изменений анодного тока нельзя было бы получить никаких изменений напряжения во внешней цепи). Наличие анодной нагрузки, как мы видели, приводит к тому что при изменениях анодного тока изменяется и напряжение на аноде лампы (которое равно напряжению между точками *1* и *2* на фиг. 25).

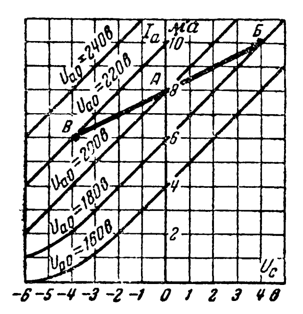
Таким образом, при наличии анодной нагрузки необходимо учитывать, что всякое изменение анодного тока вызывает изменение напряжения на аноде лампы. Этот эффект называется анодной реакцией. Вследствие анодной реакции изменения силы анодного тока будут определяться уже не только изменениями напряжения на сетке, но и происходящими одновременно изменениями напряжения на аноде. Поэтому непосредственно из семейства анодно-сеточных характеристик (которые построены для случая постоянного напряжения на аноде) уже нельзя определить, какое изменение анодного тока вызывается данными изменениями напряжения на сетке. Но зная величину анодного сопротивления R_a, можно рассчитать, какие изменения в характеристики лампы вносит анодная реакция. Для наглядности мы рассмотрим на конкретном примере как производится этот расчет. Положим, что трехэлектродная лампа, которой мы пользуемся в схеме усилителя фиг. 25, имеет анодно-сеточные характеристики, изображенные на фиг. 23, и в анодную цепь этой лампы включена анодная нагрузка $R_a = 10\,000$ *ом*, а анодная батарея *Ба* дает напряжение $U_0 = 280$ *в*. Если бы анодная нагрузка отсутствовала, то нулевой ток лампы (т. е. анодный ток при $U_c = 0$) при этом

напряжении на аноде, как видно из характеристик, составлял бы примерно 15 *ма*. Однако при наличии R_a он будет равен только 8 *ма*. В этом легко убедиться путем следующего расчета. При токе в 8 *ма* падение напряжения на анодной нагрузке будет равно 10 000 *ом* × 0,008 *а* = 80 *в*. Поскольку анодная батарея дает напряжение в 280 *в*, то напряжение на аноде лампы U_{a0} = 280 *в* — 80 *в* = 200 *в*.

Глядя на характеристики лампы, мы убеждаемся, что при

$$U_{a0} = 200\ в\ и\ U_c = 0$$

анодный ток лампы действительно должен быть равен 8 *ма*. Посмотрим теперь, что будет происходить при изменении напряжения на сетке. Для этого воспроизведем еще раз на фиг. 27 некоторый участок характеристик в увеличенном масштабе, как это уже было сделано на фиг. 24, но только дополнив семейство еще несколькими характеристиками для промежуточных анодных напряжений.



Фиг. 27. Точка, соответствующая различным напряжениям на сетке, перемещается с одной статической характеристики на другую. Ее след — динамическая характеристика (прямая *ВАБ*).

Току покоя, т. е. току в 8 *ма* при U_{a0} = 200 *в*, на этих характеристиках соответствует точка *А*. Положим теперь, что к сетке подведено такое положительное напряжение, что анодный ток возрос до 10 *ма*. При этом падение напряжения на анодной нагрузке должно было возрасти до 10 000 *ом* × 0,01 *а* = 100 *в*, а напряжение на аноде должно было упасть до 280 *в* — 100 *в* = 180 *в*. Такому режиму лампы на семействе характеристик соответствует точка *Б*.

Пусть теперь к сетке подведено такое отрицательное напряжение, что анодный ток упал до 6 *ма*. При этом падение напряжения на анодной нагрузке должно было упасть до 10 000 *ом* × 0,006, *ма* = 60 *в*, а напряжение на аноде возрасти до 280 *в* — 60 *в* = 220 *в*. Такому режиму лампы на семействе характеристик соответствует точка *В*. Из нашего построения видно, что точке *Б* соответствует напряжение на сетке +4 *в*, а точке *В* — напряжение на сетке в —4 *в*. Таким образом, чтобы получить изменение анодного тока на 2 *ма* в ту или другую

сторону от тока покоя, нужно приложить к сетке напряжение в ± 4 *в*. Между тем, если бы изменения анодного тока происходили в соответствии с анодно-сеточной характеристикой для $U_a = 200$ *в*, то изменения напряжения на сетке на ± 4 *в* вызвали бы изменения анодного тока не на ± 2 *ма*, а на ± 4 *ма*, как в этом легко убедиться из рассмотрения характеристик. Таким образом, фактические изменения силы анодного тока происходят в рассматриваемой схеме не в соответствии с анодно-сеточной характеристикой, а в меньших пределах.

Причина этого, как ясно из всего предыдущего, лежит в анодной реакции, т. е. в том, что вместе с изменениями анодного тока из-за падения напряжения в анодной нагрузке изменяется и напряжение на аноде.

Эти фактические изменения силы анодного тока в зависимости от изменения напряжения на сетке при наличии анодной реакции графически могут быть изображены прямой *ВАБ* (фиг. 27), которая называется динамической анодно-сеточной характеристикой лампы в отличие от тех анодно-сеточных характеристик, снятых при постоянном анодном напряжении, которые мы рассматривали в предыдущем параграфе и которые называются статическими характеристиками.

Как мы видели, анодная реакция уменьшает изменения силы анодного тока, происходящие при данных изменениях напряжения на сетке.

В соответствии с этим крутизна динамической характеристики (т. е. отношение изменения силы анодного тока к вызвавшему его изменению напряжения на сетке) должна быть меньше, чем крутизна статической характеристики. Действительно, прямая *ВАБ* при нашем построении оказалась менее крутой, чем статические характеристики. Для нашего конкретного примера крутизна динамической характеристики получилась вдвое меньше, чем крутизна статических характеристик. Такой результат получился потому, что сопротивление анодной нагрузки R_a было взято равным 10 000 *ом*, т. е. равным внутреннему сопротивлению лампы R_i (для рассматриваемой лампы мы нашли в предыдущем параграфе, что $R_i = 10\,000$ *ом*). Вообще же крутизна динамической характеристики $S_д$ (ее так обозначают, чтобы отличить от статической характеристики S) зависит от соотношения между R_i и R_a. Когда R_a очень мало по сравнению с R_i, падение напряжения на сопротивлении R_a мало, анод-

ная реакция не играет заметной роли и крутизна динамической характеристики близка к крутизне статической (так как эта последняя представляет собой характеристику лампы для случая, когда анодная реакция отсутствует). Наоборот, когда R_a очень велико по сравнению с R_i, крутизна динамической характеристики очень мала—при возрастании R_a она стремится к нулю, т. е. динамическая характеристика становится все более и более пологой и приближается к горизонтальной прямой.

В самом деле, в рассматриваемой схеме два сопротивления R_i и R_a включены в цепь источника анодного напряжения последовательно. Если R_a очень велико по сравнению с R_i, то сила тока в анодной цепи определяется только величиной этого большого сопротивления и не может заметно измениться от того, что изменяется напряжение на сетке лампы. Но если при изменении напряжения на сетке лампы сила анодного тока практически остается почти неизменной, то это и значит, что динамическая характеристика расположена почти горизонтально.

Итак, крутизна динамической характеристики зависит от величины анодной нагрузки R_a следующим образом: при R_a, гораздо меньшем, чем внутреннее сопротивление лампы R_i, крутизна динамической характеристики примерно равна крутизне статической. По мере увеличения R_a крутизна динамической характеристики уменьшается и при $R_a = R_i$ становится вдвое меньше крутизны статической характеристики. При дальнейшем увеличении R_a крутизна динамической характеристики продолжает уменьшаться и при очень большом R_a падает почти до нуля.

Пользуясь представлением о динамической характеристике и зная, как ее крутизна зависит от величины анодной нагрузки, мы сможем теперь ответить на вопрос о том, какое усиление может дать трехэлектродная лампа. Если к сетке лампы подведено переменное напряжение с амплитудой U_c, то оно вызовет изменения анодного тока на величину $S_д U_c$, где $S_д$—крутизна динамической характеристики. В самом деле, ведь крутизна динамической характеристики—это отношение фактического изменения анодного тока к вызвавшему его изменению напряжения на сетке. Значит, чтобы получить величину фактического изменения анодного тока, нужно переменное напряжение U_c

умножить на крутизну динамической характеристики $S_д$. Но если в анодной цепи происходят изменения силы анодного тока с амплитудой $S_д U_c$, то они вызовут изменения напряжения на анодной нагрузке с амплитудой $U_a = R_a S_д U_c$. Это переменное напряжение U_a и есть то усиленное напряжение, которое может быть снято с анодной нагрузки. Если к лампе подводится напряжение U_c, а с нее снимается напряжение U_a, то усиление, которое дает лампа, равно отношению $\frac{U_a}{U_c}$. Следовательно, усиление K, которое дает лампа, равно:

$$K = \frac{U_a}{U_c} = \frac{R_a S_д U_a}{U_c} = R_a S_д.$$

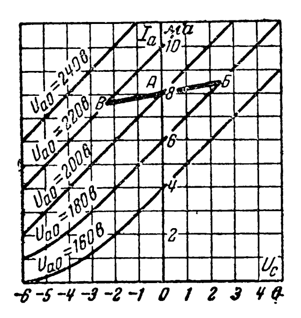
Таким образом, зная величину анодгой нагрузки и крутизну динамической характеристики, можно найти усиление, которое дает лампа. Однако, поскольку определение крутизны динамической характеристики представляет собой задачу довольно сложную, мы не будем пользоваться полученным выражением в общем случае, а рассмотрим только два частных случая, когда R_a очень мало или очень велико по сравнению с R_i. Прежде всего при R_a, малом по сравнению с R_i, крутизна динамической характеристики $S_д$ приблизительно равна ее статической крутизне S, и, следовательно, усиление, даваемое лампой, мы получим, заменив в только что выведенной формуле $S_д$ на S:

$$K \approx R_a S.$$

Таким образом, пока сопротивление анодной нагрузки мало по сравнению с внутренним сопротивлением лампы, усиление, даваемое лампой, определяется главным образом крутизной ее статической характеристики. Вместе с тем оно растет с увеличением сопротивления анодной нагрузки R_a. Однако нужно помнить, что полученное выражение справедливо только до тех пор, пока R_a мало по сравнению с R_i.

Рассмотрим теперь другой крайний случай, когда R_a очень велико по сравнению с R_i. В этом случае нельзя получить ответ непосредственно из выведенной нами формулы, пока мы не знаем, как $S_д$ зависит от R_a. Поэтому мы

определим величину усиления из других соображений. Как мы знаем, при R_a очень большом динамическая характеристика идет почти горизонтально (сила анодного тока остается почти неизменной при изменении напряжения на сетке). Динамическая характеристика для нашего примера и большого R_a изображена на фиг. 28 (прямая *ВАБ*). Как видно из этой динамической характеристики, при изменении напряжения на сетке примерно на ± 2 *в* (до точек *Б* и *В*) напряжения на аноде лампы изменяются на ± 20 *в*. Но ведь эти изменения напряжения на аноде как раз равны тому переменному напряжению, которое снимается с анодной нагрузки. Следовательно, подводя к сетке напряжение с амплитудой 2 *в*, мы снимем с лампы напряжение с амплитудой 20 *в*, т. е. получим от лампы усиление, примерно равное 10 (примерно равное коэффициенту усиления лампы в рассматриваемом нами случае). Это совпадение, конечно, не случайно. Так получится во всех случаях, когда R_a очень велико.



Фиг. 28. При очень большом сопротивлении анодной нагрузки динамическая характеристика (прямая *ВАБ*) расположена почти горизонтально.

Если динамическая характеристика идет почти горизонтально, то, значит, изменение напряжения на сетке и соответствующее изменение напряжения на аноде действуют в противоположные стороны таким образом, что анодный ток остается почти неизменным. А как мы знаем, изменение напряжения на сетке действует на анодный ток в μ раз сильнее (где μ—коэффициент усиления лампы), чем изменения напряжения на аноде.

Поэтому, чтобы анодный ток оставался почти неизменным, нужно, чтобы изменение напряжения на аноде было примерно в μ раз больше, чем на сетке. Это и значит, что лампа в рассматриваемом случае дает усиление, примерно равное μ. Итак, при R_a, очень большом по сравнению с R_i, усиление K лампы

$$K \approx \mu,$$

т. е. в этом случае усиление, даваемое лампой, определяется только величиной ее коэффициента усиления.

Можно показать, что усиление, даваемое лампой в рассмотренном случае, является наибольшим из возможных. Мы не будем однако, доказывать этого для всех случаев, а сравним усиление, получающееся в двух рассмотренных выше крайних случаях, т. е. в случаях очень малого и очень большого R_a. В случае очень малого R_a усиление $K = SR_a$. Но так как это справедливо только при условии, что R_a меньше R_i, то, значит, усиление лампы в этом случае меньше, чем SR_i.

Из этого, а также из приведенного в предыдущем параграфе соотношения между тремя основными параметрами лампы ($SR_i = \mu$) видно, что в случае малого R_a усиление, даваемое лампой, во всяком случае меньше μ.

Итак, усиление, даваемое лампой, зависит как от параметров лампы, так и от величины анодной нагрузки R_a. По мере увеличения R_a это усиление растет, постепенно приближаясь к величине коэффициента усиления лампы μ. Эта величина определяет то наибольшее усиление, которое может дать лампа.

Принцип действия лампы как усилителя, который мы только что изложили, очевидно, в одинаковой степени относится к усилению колебаний как высокой, так и низкой частоты, так как и те и другие колебания являются медленными по сравнению с теми скоростями, с которыми происходят процессы внутри лампы, и, в частности, по сравнению с тем временем, в течение которого электроны пролетают путь от катода к аноду. Только в случае колебаний наиболее высокой частоты, превышающей 100 *мггц* (т. е. в случае волн короче 3 *м*), продолжительность периода колебаний уже столь мала, что становится сравнимой с временем пролета электронов от нити к аноду. Для всех же более длинных волн можно считать, что за время пролета электронов от катода до анода напряжения на электродах лампы не успевают заметно измениться. Поэтому процессы усиления как высокой, так и низкой частоты протекают в самой лампе принципиально одинаково. Однако когда лампа работает в схеме, то напряжения к ней должны быть подведены от одних каких-то элементов схемы, а проходящие в ней токи должны быть подведены к другим элементам схемы. Между тем свойства этих элементов (сопротивлений, емкостей и т. д.), а также и всех соединительных проводов схемы и выводов лампы (которые также обладают сопротивлением, емкостью и индуктивностью) со-

вершенно различны для токов разной частоты. Поэтому не только в самих схемах, но даже и в конструкции ламп, предназначенных для усиления различных частот, существуют значительные различия. Эти различия будут отмечены при рассмотрении схем усилителей, предназначенных для той или иной цели. Сейчас же мы рассматриваем работу самой лампы, предназначенной для усиления электрических колебаний.

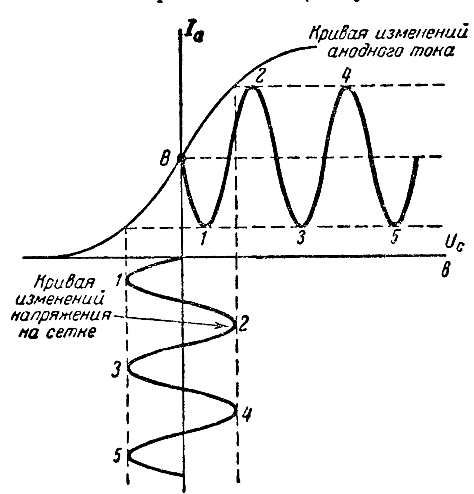
Поскольку независимо от частоты усиливаемых колебаний и типа усилителя все лампы, работающие в качестве усилительных, выполняют принципиально одну и ту же задачу, они должны работать вообще в одинаковом режиме. Только в некоторых специальных схемах усиления или генераторных схемах приходится ставить лампы в специальный режим. Рассмотрим подробнее режим, в котором обычно работают усилительные лампы.

Если подводить к лампе некоторые переменные напряжения, то на анодной нагрузке мы будем иметь такие же переменные напряжения, но усиленные в определенное число раз. Поэтому, чем больше будут напряжения, подводимые к сетке лампы, тем больше будут и напряжения, получающиеся в анодной цепи. Однако в этом направлении нельзя итти как угодно далеко. Ведь задача заключается не только в том, чтобы получить в анодной цепи большие напряжения. Нужно также, чтобы форма этого переменного напряжения, которое подводится к сетке, оставалась после усиления неизменной, т. е. в анодной цепи ток должен иметь ту же форму, какую имеет напряжение, подведенное к сетке. Ясно, почему это необходимо. Определенной форме кривой соответствуют вполне определенные звуки или сигналы, и если форма кривой при усилении будет искажена, то вместе с тем будут искажены и те звуки или сигналы, которые получаются на выходе усилителя, т. е. усилитель будет искажать передачу. Это требование — сохранение формы кривой подводимых колебаний — является весьма существенным при усилении. Оно как раз и ставит предел тем напряжениям, которые могут быть подведены к сетке лампы, а следовательно, и тем напряжениям, которые могут быть получены в анодной цепи лампы после усиления. Рассмотрим подробнее, чем обусловлен этот предел.

Положим, что к сетке усилительной лампы подводится переменное напряжение (постоянное напряжение не подается), и будем считать для простоты, что это напряжение имеет синусоидальную форму. Чтобы определить, как будет

при этом изменяться сила тока в анодной цепи лампы, обратимся к анодно-сеточной характеристике лампы (фиг. 29).

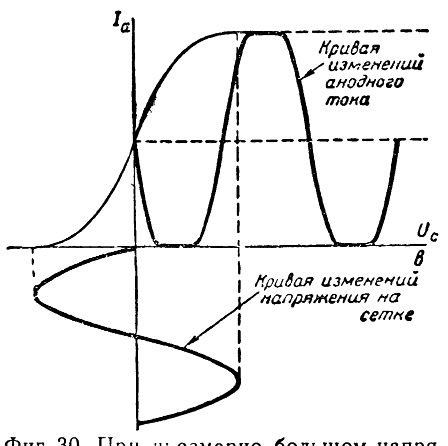
Строго говоря, мы должны были бы взять семейство анодно-сеточных характеристик и построить динамическую характеристику лампы. Но выяснить интересующий нас вопрос можно и пренебрегая анодной реакцией, т. е. рассматривая только одну статическую характеристику. Будем откладывать подводимое к сетке переменное (синусоидальное) напряжение вниз по вертикальной оси. Каждому значению переменного напряжения на сетке будет соответствовать определенное значение анодного тока, которое мы найдем, проведя вертикальную линию от значения напряжения до пересечения с характеристикой лампы. Найденные значения анодного тока мы расположим также последовательно одно за другим, считая, что время растет по горизонтальной оси вправо. Из этого построения видно, что пока характеристика лампы прямолинейна, последовательные значения анодного тока также образуют синусоиду. Поэтому при не слишком больших значениях напряжения на сетке, пока эти напряжения не выходят за пределы прямолинейной части характеристики лампы, мы получим в анодной цепи также синусоидальные изменения силы анодного тока, т. е. в конечном счете синусоидальные же изменения напряжения на анодной нагрузке. Таким образом, форма кривой напряжения, подведенного к сетке, будет сохранена, и усилитель будет работать без искажений.



Фиг. 29. Построение кривой анодного тока по кривой напряжения на сетке и анодно-сеточной характеристике.

В случае же, если напряжение, подводимое к сетке, будет настолько велико, что оно станет заходить за пределы прямолинейной части характеристики (фиг. 30), то, очевидно, форма кривой анодного тока уже не будет совпа-

дать с формой кривой напряжения, подводимого к сетке. Форма кривой напряжения, получаемого в анодной цепи, будет искажена, и, значит, усилитель будет работать с искажениями. Искажения эти будут заметны тем более, чем больше амплитуда напряжения, подводимого к сетке. Искажения сводятся к тому, что большие значения амплитуд тока в анодной цепи оказываются как бы срезанными и между различными его амплитудами не сохраняется то соотношение, которое существовало между теми же амплитудами в сеточном напряжении. Рассмотренные искажения носят названия амплитудных искажений. Их называют часто также нелинейными искажениями, так как причина их лежит в нелинейности характеристики лампы.



Фиг. 30. При чрезмерно большом напряжении на сетке форма кривой анодного тока искажается.

Чтобы не возникали амплитудные искажения, напряжения, подводимые к сетке лампы, не должны выходить за пределы прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики. Однако, как уже отмечалось, это требование, строго говоря, относится не к статической, а к динамической анодно-сеточной характеристике лампы. Но пока динамическая характеристика проходит по прямолинейным участкам семейства статических характеристик, она сама также остается прямолинейной. Поэтому приведенное выше условие отсутствия амплитудных искажений должно быть сформулировано следующим образом: все изменения напряжения на сетке и аноде, которые происходят при работе лампы, не должны выходить за пределы прямолинейных участков соответствующих статических анодно-сеточных характеристик.

Для соблюдения этого условия, во-первых, должны быть ограничены те переменные напряжения, которые подводятся к сетке лампы, и, во-вторых, правильно выбран режим ра-

боты лампы, т. е. постоянные напряжения, которые подводятся к ее сетке и аноду.

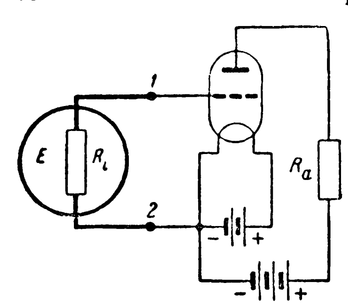
Режим лампы определяет положение на характеристике (или на семействе характеристик) «рабочей точки», — той точки, которая соответствует величине тока покоя лампы. Так, например, на фиг. 29 «рабочей точкой» является точка *B*. Так как постоянное напряжение на сетке лампы по нашему предположению отсутствует, то значит, при отсутствии переменных напряжений на сетке напряжение на ней равно 0 и через лампу течет анодный ток, соответствующий точке *B* на характеристике. Если бы на сетку лампы было подано постоянное положительное или отрицательное напряжение, то рабочая точка сместилась бы по характеристике соответственно вправо или влево.

Легко сообразить, как следует выбрать положение рабочей точки для того, чтобы, по возможности, избежать амплитудных искажений в усилителе. Так как под действием переменного напряжения напряжение на сетке изменяется на одинаковую величину в обе стороны от некоторого постоянного значения (в частности, это постоянное значение может быть равно нулю), то, очевидно, рабочую точку следует выбирать в середине прямолинейного участка характеристики.

Как же можно достигнуть того, чтобы рабочая точка находилась в середине прямолинейного участка анодной характеристики? Очевидно, положение рабочей точки на характеристике прежде всего зависит от выбора анодного напряжения, так как при изменении напряжения на аноде вся характеристика целиком передвигается вдоль оси абсцисс. Если постоянное напряжение на сетке отсутствует (а только этот случай мы пока рассматриваем), то нужно выбрать анодное напряжение такой величины, чтобы при нулевом напряжении на сетке значение анодного тока (тока покоя) совпадало со средней точкой анодной характеристики. Например, для характеристик, изображенных на фиг. 23, это получается при анодном напряжении в 200 *в*. Такому именно положению рабочей точки соответствует построение, приведенное на фиг. 29.

Однако правильный выбор рабочей точки на характеристике анодного тока еще не устраняет полностью опасности возникновения амплитудных искажений в лампе. Причиной искажений может быть не только нелинейность анодно-сеточной характеристики, но и появление сеточного тока в лампе. Как мы уже указывали, сеточный ток в лампе воз-

никает при положительных напряжениях на сетке вследствие того, что часть электронов, двигающихся от катода к аноду, «оседает» на проводах сетки. Начинается сеточный ток примерно при нулевом напряжении на сетке и возрастает с увеличением положительного напряжения на сетке. При отрицательных же напряжениях на сетке сеточный ток отсутствует. Именно это обстоятельство — возникновение сеточных токов только при положительных полупериодах напряжения на сетке — и вызывает искажения усиливаемых сигналов. Непосредственная причина искажений заключается в том, что возникновение тока в цепи сетки неизбежно вызовет падение напряжения на зажимах того источника, от которого переменные напряжения подводятся к сетке лампы. Действительно, источник переменной э. д. с. E (фиг. 31), подводимой к сетке лампы (это может быть вторичная обмотка трансформатора, колебательный контур и т. п.), всегда обладает некоторым внутренним сопротивлением R_i. Поэтому, если этот источник будет давать ток, то внутри него будет происходить падение напряжения и напряжение, создаваемое источником на сетке лампы, т. е. между точками 1 и 2, будет меньшим, чем в отсутствие сеточного тока. Между тем, если постоянное напряжение на сетке отсутствует, то при подаче на нее переменного напряжения в течение одного полупериода сетка будет находиться под положительным напряжением, а в течение другого полупериода — под отрицательным. Вследствие этого в течение первого полупериода напряжения в цепи сетки будет возникать сеточный ток и будет происходить падение напряжения внутри источника, дающего переменное напряжение на сетку. Короче говоря, в течение этого полупериода произойдет уменьшение напряжения, действующего между сеткой и нитью. Во время же второго полупериода сетка будет под отрицательным напряжением и сеточный ток не возникнет, а следовательно, не будет и падения напряжения в источнике. Таким образом, напряжение между сеткой и нитью во время положительных полупериодов будет



Фиг. 31. Искажения при появлении сеточного тока обусловлены тем, что источник сеточного переменного напряжения обладает внутренним сопротивлением.

меньше, чем во время отрицательных. Та же несимметрия сохранится и в форме анодного тока после усиления; форма колебаний после усиления изменится, т. е. усилитель будет давать искажения.

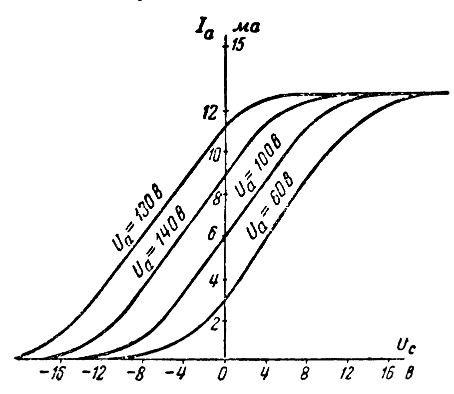
9. СЕТОЧНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Чтобы воспрепятствовать возникновению тока в цепи сетки и устранить опасность искажений, достаточно исключить возможность появления на сетке положительных напряжений, т. е. сделать так, чтобы и во время положительных полупериодов переменного напряжения сетка оставалась все же под отрицательным напряжением. Для этого нужно подать на сетку некоторое постоянное отрицательное напряжение, величина которого должна быть больше амплитуд переменных напряжений, подводимых к сетке. Например, если к сетке для усиления подводятся амплитуды в 1 *в*, то при постоянном отрицательном напряжении на сетке —2 *в* общее напряжение на ней будет изменяться от —3 до —1 *в*. Это постоянное отрицательное напряжение смещает рабочую точку влево по характеристике и поэтому называется сеточным смещением.

Если анодное напряжение выбрано так, что при нулевом напряжении на сетке рабочая точка находится в середине прямолинейной части характеристики, то при наличии сеточного смещения она сдвинется влево, ближе к нижнему изгибу характеристики. Чтобы рабочая точка оставалась все же посредине прямолинейного участка характеристики, нужно вместе со смещением рабочей точки сместить влево и всю характеристику, т. е. увеличить анодное напряжение. Для того чтобы рабочая точка осталась на прежнем месте характеристики, т. е. чтобы величина анодного тока при отсутствии переменных напряжений на сетке не изменилась, нужно, чтобы отношение увеличения анодного напряжения к сеточному смещению как раз было равно коэффициенту усиления лампы. Так, например, для лампы, характеристики которой изображены на фиг. 32 и коэффициент усиления которой равен 10, при отсутствии сеточного смещения и анодном напряжении 100 *в* рабочая точка будет лежать в середине прямолинейной части характеристики (нулевой анодный ток 6 *ма*). При сеточном смещении в —4 *в* нужно увеличить анодное напряжение до 140 *в*. Тогда рабочая точка останется на середине прямолинейной части характеристики (нулевой анодный ток попрежнему будет равен 6 *ма*). При сеточном смещении в —8 *в* нужно анодное напряже-

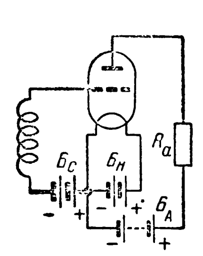
ние увеличить до 180 *в*, чтобы положение рабочей точки на характеристике осталось неизменным, и т. д.

Итак, для устранения искажений при работе лампы в качестве усилителя необходимо правильно выбрать анодное напряжение и сеточное смещение. При этом между анодным напряжением и сеточным смещением существует вполне определенная связь: чем большее отрицательное смещение на сетке, тем большее должно быть анодное напряжение для того, чтобы рабочая точка лежала в середине прямолинейной части характеристики.

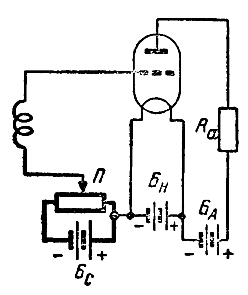


Фиг. 32. Чем больше отрицательное смещение, тем больше должно быть анодное напряжение для того, чтобы рабочая точка оставалась в середине прямолинейного участка характеристики.

Напряжение смещения иногда задается на сетку от специальной батареи смещения $Б_c$ либо непосредственно (фиг. 33), либо через потенциометр *П* (фиг. 34), позволяющий плавно изменять это напряжение и



Фиг. 33. Сеточное смещение задается от специальной батареи смещения $Б_c$.



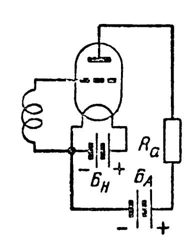
Фиг. 34. При помощи потенциометра можно изменять величину сеточного смещения.

таким путем устанавливать наивыгоднейшее его значение при данных условиях.

Но и без специальной батареи на сетке может получиться некоторое постоянное напряжение по отношению

к нити, т. е. некоторое смещение вследствие наличия в цепи нити и анодной цепи постоянных токов, а значит, и постоянных падений напряжений.

Прежде всего посмотрим, какое влияние на напряжение, под которым находится сетка, может оказать наличие тока накала в цепи нити. Напряжение, подводимое к концам нити, распределяется вдоль всей нити лампы (так как проходящий по нити ток накала создает вдоль нее падение напряжения). По отношению к какому-либо концу нити (и вообще какой-либо точке схемы) различные части нити находятся под разным напряжением. Поэтому, когда мы хотим определить напряжение сетки относительно нити, то нужно заранее условиться, по отношению к какой именно точке нити мы отсчитываем напряжение на сетке.



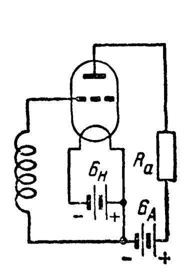
Фиг. 35. Присоединение цепи сетки к отрицательному полюсу батареи накала создает некоторое отрицательное смещение на сетке.

Как мы уже указывали, в ламповых схемах принято считать «нулевой точкой» отрицательный конец нити накала и по отношению к нему отсчитывать все напряжения в схеме. Если мы говорим: «напряжение на сетке равно нулю», то обычно (пока не сделано специальных оговорок) это нужно понимать так, что напряжение на сетке такое же, как и напряжение на отрицательном конце нити. Но напряжение всех остальных точек нити по отношению к ее отрицательному концу положительно и тем выше, чем дальше данная точка лежит от отрицательного конца нити (это обусловлено, как уже указывалось, тем, что ток накала создает падение напряжения вдоль нити от ее положительного к отрицательному концу).

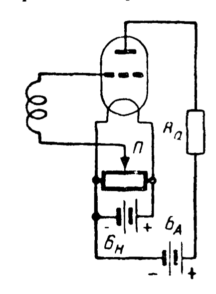
Следовательно, когда сетка присоединена к отрицательному концу нити, а все точки нити находятся под различным, но положительным напряжением по отношению к этому концу, то сетка по отношению к различным точкам нити находится под разным, но везде отрицательным напряжением. Таким образом, присоединение цепи сетки к отрицательному концу нити (фиг. 35) фактически означает задание некоторого отрицательного смещения на сетку по отношению к нити, равного в среднем половине напряжения накала. Наоборот, если сетку присоединить к положительному концу нити, то все точки нити, находящиеся под отрицательным напряжением по отношению к этому концу нити, окажутся

под отрицательным напряжением и по отношению к сетке. Следовательно, присоединение сетки к положительному концу нити накала (фиг. 36) фактически означает задание некоторого положительного напряжения на сетку лампы, в среднем равного половине напряжения накала.

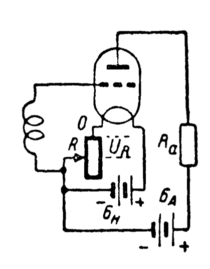
Таким образом, присоединяя сетку к тому или другому концу нити, мы можем задавать на нее лишь вполне определенное положительное или отрицательное напряжение (как уже сказано, в среднем равное половине напряжения



Фиг. 36. Присоединение цепи сетки к положительному полюсу батареи накала создает на сетке положительное напряжение относительно нити.



Фиг. 37. При помощи потенциометра, включенного между концами нити накала, можно задавать на сетку как положительное, так и отрицательное напряжение.



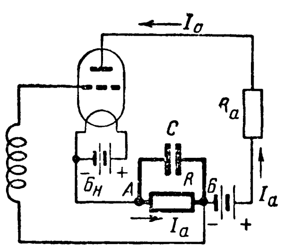
Фиг. 38. Отрицательное напряжение на сетку может быть задано при помощи реостата накала (если напряжение батареи накала превышает напряжение накала лампы).

накала). Небольшое дополнение к схеме позволяет задавать на сетку не только эти два определенных напряжения, но и все промежуточные значения между ними. Для этого между концами нити включается потенциометр *П* сопротивлением в несколько сот *ом* (фиг. 37). Вдоль потенциометра напряжение распределяется равномерно так же, как и вдоль нити, и поэтому напряжение на соответствующих точках нити и потенциометра будет одно и то же. Таким образом, мы получаем возможность присоединить цепь сетки не только к одному из концов нити, но и к точке, находящейся под таким же напряжением, как и любая точка нити. Для этого нужно поставить движок потенциометра в соответствующее положение.

В том случае, когда напряжение батареи накала превышает напряжение, потребное для нормального накала нити, в цепь накала включается специальный реостат, на котором падает избыточное напряжение батареи. Это избыточное на-

пряжение также может быть использовано для задания смещающего напряжения на сетку. Действительно, если мы включим реостат накала R в отрицательный провод цепи и присоединим цепь сетки до этого реостата (фиг. 38), то сетка окажется по отношению к отрицательному концу нити (точке O) под отрицательным напряжением $U_R = R \cdot I_н$, равным падению напряжения на реостате (это падение напряжения получается вследствие того, что по реостату проходит ток накала $I_н$).

Вообще, присоединяя цепь сетки к различным точкам цепи накала, мы даем различные смещающие напряжения на сетку. Поэтому, составляя ламповую схему, всегда следует подумать над тем, к какой точке цепи накала присоединить цепь сетки. Обычно при работе лампы в качестве усилительной выгодно подать на сетку отрицательное смещение. Поэтому прежде всего независимо от того, применяются ли специальные смещающие напряжения или нет, концы сеточных цепей всегда присоединяются к отрицательному концу нити накала.



Фиг. 39. Отрицательное смещение за счет анодного тока, создающего падение напряжения в сопротивлении R („автоматическое смещение").

Смещающее напряжение можно подать на сетку не только при помощи специальной батареи или за счет напряжения накала, но и за счет падения напряжения, которое может быть создано в анодной цепи при прохождении по ней тока. Действительно, если в цепь анода включить сопротивление R, то по этому сопротивлению будет проходить анодный ток I_a (фиг. 39). Так как электроны движутся от анода к нити, то, следовательно, направлением тока во внешней цепи нужно считать направление от нити к аноду (указано на фиг. 39 стрелками). Этот ток создает на сопротивлении R падение напряжения, причем, очевидно, точка $Б$ по отношению к точке A будет находиться под отрицательным напряжением. Поэтому, если мы конец цепи сетки присоединим не непосредственно к отрицательному концу нити накала, а после сопротивления R, т. е. к точке $Б$, то сетка по отношению к нити окажется под отрицательным напряжением, величина которого равна падению напряжения на сопротивлении R, т. е. равна $I_a R$. Если, например, $R = 1\,000$ *ом*, а $I_a = 5$ *ма*, то сетка при таком включении

получит отрицательное смещение в 5 *в*. Так как в цепях сетки и анода кроме постоянных проходят и переменные токи высокой или низкой частоты (в зависимости от типа усилителя), то эти токи создавали бы переменное падение напряжения на сопротивлении R, служащем для задания смещения на сетку. Эти переменные напряжения вызвали бы ненужное воздействие анодной цепи на сеточную. Поэтому параллельно сопротивлению R всегда включается достаточно большая емкость C, через которую переменные токи проходят, минуя сопротивление R. Описанный нами способ задания смещающего напряжения за счет падения напряжения в анодной цепи называют автоматическим смещением Этот способ удобен тем, что он не требует специальных батарей смещения и поэтому он получил широкое распространение на практике.

10. ЛАМПЫ ПРЯМОГО И КОСВЕННОГО НАКАЛА

Питание накала ламп требует постоянного расхода энергии.

В случае, когда оно производится от гальванических батарей либо аккумуляторов, необходима регулярная смена батарей или зарядка аккумуляторов. Даже в случае экономичных ламп (с активированными нитями) такую смену или зарядку батарей приходится производить довольно часто, что связано с определенными заботами и денежными затратами. Питание цепей накала непосредственно от осветительной электрической сети (конечно, там, где она есть) оказывается гораздо более удобным и выгодным, особенно в случае сетей переменного тока.

Для питания нити накала от сети переменного тока напряжение последней приходится понижать, так как оно обычно равно 110, 127 или 220 *в*. Напряжение же, необходимое для накала ламп, обычно много ниже (чаще всего оно порядка 6 *в*). Понижение напряжения производится при помощи трансформаторов. Однако при питании накала ламп переменным током возникают трудности, которые необходимо иметь в виду. Прежде всего, если нить лампы очень тонкая, то при питании переменным током она успевает немного остыть за то время, когда ток накала близок к нулю. Вместе с уменьшением температуры нити падает и ток эмиссии. Это приводит к тому, что и анодный ток лампы немного колеблется вместе с колебаниями тока накала. Вследствие этого в телефоне или репродукторе слышен «фон» переменного тока. Если же нить накала достаточно толстая, то она

не успевает заметно остыть за время, пока ток накала мал (за время порядка четверти периода, т. е. менее $^1/_{200}$ сек.), и температура нити остается достаточно постоянной. Поэтому для питания переменным током следует применять лампы с достаточно толстыми нитями накала.

Но эта мера все же не устраняет полностью фона переменного тока и вот почему. Как мы видели, в случае питания накала постоянным током присоединение цепи сетки к тому или другому концу нити фактически означает задание определенного напряжения на сетку лампы. Это напряжение создается за счет падения напряжения, существующего вдоль нити. Но если нить питается переменным током, то падение напряжения вдоль нити периодически изменяет свое направление и величину, и сетка, присоединенная к одному из концов нити, оказывается под переменным напряжением по отношению к остальным точкам нити. Это приводит к тому, что сила анодного тока меняется вместе с изменениями напряжения, питающего нить ламп, и в телефоне или репродукторе появляется фон переменного тока. Для устранения этой причины фона конец цепи сетки присоединяют не к одному из концов нити, а к так называемой «средней точке», находящейся под тем же напряжением, как и середина нити накала.

Получить эту среднюю точку можно при помощи потенциометра *П*, включенного параллельно нити накала (фиг. 40). Середина потенциометра (точка *О*) и может служить средней точкой. По отношению к этой средней точке обе части нити находятся под напряжением противоположного знака: в течение одного полупериода переменного тока левая половина находится под положительным напряжением относительно средней точки, а правая — под отрицательным, а в течение другого полупериода — наоборот. Так как эти напряжения всегда противоположны, то их влияние на силу анодного тока компенсируется.

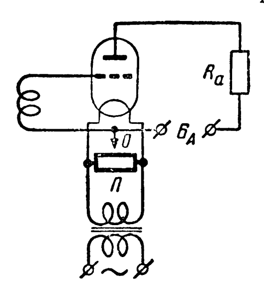
В качестве средней точки может служить не только середина потенциометра *П*, как на фиг. 40, но и середина обмотки трансформатора накала, т. е. точка *О* на фиг. 41. Поэтому в трансформаторах накала обычно делается вывод от середины обмотки накала.

Рассмотренный нами способ непосредственного накала катодов ламп переменным током хотя и ослабляет фон переменного тока, но не устраняет его совершенно. Дело в том, что, во-первых, при изменениях силы тока накала нить все же успевает немного остыть, поэтому немного пульси-

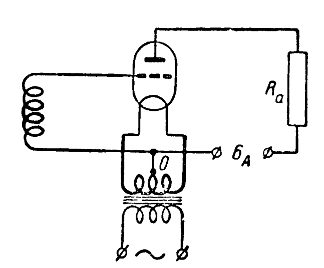
рует и температура нити, а вместе с ней — и сила анодного тока. Кроме того, изменения напряжения на двух половинах нити относительно средней точки никогда полностью не уравновешивают друг друга, и эти изменения все же сказываются на величине анодного тока.

Поэтому переменный ток очень редко применяют для накаливания катода таких ламп, в которых роль последнего выполняет нить накала (такие лампы называются лампами прямого накала).

Коренным решением вопроса питания накала переменным током является применение взамен ламп прямого на-



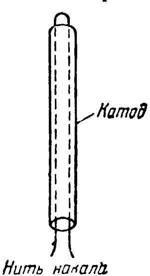
Фиг. 40. Потенциометр, служащий для создания „средней точки", помогает устранить фон при питании нити накала лампы переменным током.



Фиг. 41. При наличии в обмотке накала вывода от середины он служит „средней точкой", к которой должна быть присоединена цепь сетки для уменьшения фона переменного тока.

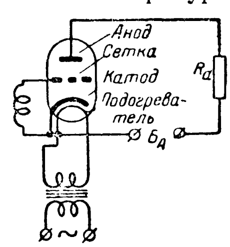
кала так называемых подогревных ламп или ламп косвенного накала. Лампы косвенного накала устроены следующим образом. Источником, испускающим электроны, т. е. катодом лампы, является не сама нить, а никелевый цилиндрик, покрытый активирующим слоем (оксидами). Внутри цилиндрика находится подогреватель — спираль или стерженек, изолированный от катода и накаливаемый током (фиг. 42). Этот подогреватель нагревает катод, который и испускает электроны. Таким образом, переменный ток накала вовсе не попадает на катод, и все точки катода находятся под одним и тем же напряжением. В этом случае не получается никакого падения напряжения вдоль катода, которое получается в случае непосредственного накаливания нити (катода) током. Поэтому такие не прямо, а косвенно подогреваемые катоды часто называют эквипотенциальными катодами, т. е. катодами равного потенциала.

В отношении принципа управления анодным током и областей применения подогревные лампы ничем не отличаются от обычных ламп с непосредственным накалом. Все различие заключается лишь в схеме включения цепи накала. Так как катод и цепь накала в подогревных лампах разделены, то концы цепей сетки и анода присоединяются не к цепи накала, а к катоду. Цепь же накала вообще может быть не соединена с остальной схемой. Однако в подогревных лампах нельзя допускать большого напряжения между подогревателем и катодом, так как если оно превышает несколько десятков вольт, то может произойти пробой между подогревателем и катодом. Поэтому обычно одна из точек цепи, питающей подогреватель, т. е. цепи накала, присоединяется к катоду лампы. Эта предосторожность особенно важна в тех специальных схемах, где катоды ламп по каким-либо причинам не могут быть заземлены и находятся под высоким напряжением. Включение подогревной лампы в схему изображено на фиг. 43.



Фиг. 42. Устройство катода косвенного накала. Ток накала проходит по подогревателю и накаливает его. Тепло от подогревателя передается катоду.

В подогревных лампах отсутствуют обе причины, вызывающие появление фона переменного тока,— изменение распределения напряжения вдоль катода, т. к. катод является эквипотенциальным, и изменения температуры катода, т. к. подогреватель вместе с катодом представляет собой гораздо более массивную конструкцию, чем тонкая нить накала, и вся эта конструкция за четверть периода тока накала совсем не успевает остыть.



Фиг. 43. Так включается в схему подогревная лампа.

Применение в лампах косвенного подогрева обеспечивает и другие существенные преимущества. Прежде всего крутизна характеристики лампы может быть сделана тем больше, чем больше поверхность катода. Так как в подогревных лампах поверхность катода гораздо больше, чем поверхность нити у обычных ламп, то первые обычно имеют гораздо бóльшую крутизну характеристики, чем лампы с прямым накалом, и обладают лучшими усилительными свойствами. Важным преимуществом подогревных ламп является и

механическая жесткость их катодов. В лампах прямого накала нить приходится делать очень тонкой, чтобы она потребляла малый ток. Но такая тонкая нить не может быть натянута очень сильно, да и к тому же при накаливании она удлиняется и ее натяжение уменьшается. Поэтому при механических толчках нить колеблется с каким-то определенным периодом, который зависит от ее размеров, массы и натяжения. В большинстве случаев эти собственные периоды механических колебаний лежат в пределах звуковых частот. Но свойства лампы и величина ее параметров зависят от расположения электродов и расстояния между ними. Поэтому при колебаниях нити, возникающих вследствие сотрясений и толчков, изменяются периодически и параметры лампы, а вместе с тем колеблется и сила тока в анодной цепи. Вследствие этого при механических толчках в телефоне или репродукторе, включенном в анодную цепь лампы, бывает слышен характерный звон, являющийся результатом тех периодических изменений силы анодного тока, которые вызваны механическими колебаниями электродов лампы. Колебания электродов лампы могут возникать в результате воздействия на баллон лампы сильных звуковых колебаний. Эта чувствительность ламп к механическим толчкам и звуковым колебаниям, которые превращаются в лампе в электрические, называется микрофонным эффектом.

В подогревных лампах, где катодом служит не тонкая нить, а жестко закрепленный цилиндрик, микрофонный эффект отсутствует. Правда, причиной микрофонного эффекта может быть недостаточная жесткость и других электродов (сеток и анода), механические колебания которых также влияют на величину анодного тока. Но эту причину обычно удается устранить, придав всем электродам достаточную жесткость. Поэтому, как правило, подогревные лампы дают гораздо меньший микрофонный эффект, чем лампы с прямым накалом. В случае же ламп с прямым накалом для ослабления микрофонного эффекта приходится применять специальную амортизацию и защиту от толчков всего приемника или отдельных ламп.

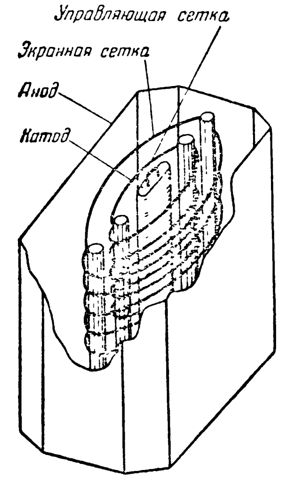
11. МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

Как было показано в § 8, усилительные возможности лампы определяются главным образом коэффициентом усиления лампы μ.

Но коэффициент усиления триода из-за целого ряда возникающих трудностей не может быть сделан достаточно

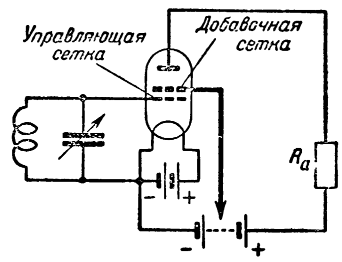
большим. Если же ввести в лампу четвертый электрод — добавочную сетку, расположенную между сеткой и анодом (фиг. 44),— то коэффициент усиления лампы можно значительно увеличить.

В результате введения четвертого электрода — добавочной сетки — лампа превращается из трехэлектродной в четырехэлектродную или в тетрод.



Фиг. 44. Четвертый электрод — экранная сетка — помещается между управляющей сеткой и анодом.

Добавочная сетка помимо того, что она позволяет получить большой коэффициент усиления лампы, обычно играет роль электрического экрана между первой сеткой и анодом (для устранения



Фиг. 45. На добавочную сетку подается положительное напряжение, несколько меньшее, чем на анод.

влияния анодной цепи на сеточную). Поэтому ее называют экранной сеткой.

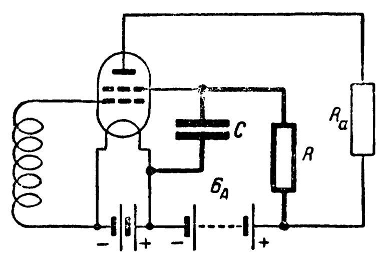
Добавочная экранная сетка, расположенная вблизи анода, находится под некоторым положительным напряжением, равным напряжению анодной батареи или несколько меньшем его, т. е. включается так, как указано на фиг. 45.

К первой сетке, находящейся ближе к катоду, подводятся напряжения, подлежащие усилению (так же как и в триоде). Эта сетка в тетроде (и других многоэлектродных лампах) называется управляющей.

Рассмотрим детальнее, чем определяется сила анодного тока в тетроде.

Прежде всего, так же как и в триоде, сила анодного тока в тетроде больше всего зависит от напряжения на управляющей сетке, но помимо того она зависит и от напряжений на добавочной сетке и аноде. Но так как добавочная сетка находится ближе к катоду, чем анод, то ве-

личина анодного тока определяется главным образом напряжением на этой сетке, а не напряжением на аноде. Но напряжение на добавочной сетке всегда остается постоянным, так как эта сетка присоединена непосредственно ко всей или к части анодной батареи. Вследствие этого изменения напряжения на аноде, вызванные изменением величины падения напряжения в анодном сопротивлении, не будут вызывать сколько-нибудь заметного изменения величины анодного тока. Следовательно, наличие добавочной сетки, включенной так, как указано на фиг. 45, почти полностью устраняет явление анодной реакции и вызываемое



Фиг. 46. Напряжение на добавочной сетке понижается за счет падения части напряжения на сопротивлении R.

Фиг. 47. Часть напряжения анодной батареи можно подать на экранную сетку при помощи делителя, составленного из сопротивлений R_1 и R_2.

ею уменьшение крутизны динамической характеристики. Для того чтобы в цепи добавочной сетки не получалось значительного тока, ее включают обычно на напряжение, несколько меньшее, чем напряжение на аноде. В тех случаях, когда анодная батарея не секционирована и включить добавочную сетку непосредственно на часть батареи невозможно, применяют одну из схем включения, приведенных на фиг. 46 и 47. В первой схеме в цепь добавочной сетки включается значительное сопротивление R — порядка десятков, а иногда и сотен тысяч *ом*. Так как в этой цепи проходит некоторый ток, то падение напряжения, вызванное этим током, понижает напряжение на сетке и ток в цепи добавочной сетки будет меньше, чем при включении ее непосредственно на плюс анодной батареи.

Другой способ состоит в делении анодного напряжения при помощи высокоомного делителя, составленного из сопротивлений R_1 и R_2 (фиг. 47). В обоих случаях конденсатор C, закорачивающий для переменных токов экранную сетку на катод, служит для того, чтобы на этой сетке

не возникали переменные напряжения вследствие колебаний силы тока в ее цепи, вызванных изменениями напряжения на управляющей сетке.

Введение экранной сетки сильно изменяет параметры лампы.

Как уже упоминалось, коэффициент усиления μ увеличивается во много раз благодаря наличию второй сетки, значительно уменьшающей влияние анодного напряжения на силу анодного тока. Однако при этом, очевидно, увеличивается внутреннее сопротивление лампы R_i, поскольку оно определяется отношением изменения напряжения на аноде к вызванному им изменению анодного тока. Если изменение анодного напряжения мало изменяет силу анодного тока, то значит внутреннее сопротивление лампы велико.

Итак, особенностями тетрода являются больший, чем у триода, коэффициент усиления лампы, но зато и большее, чем у триода, внутреннее сопротивление. У существующих типов четырехэлектродных ламп оно составляет сотни тысяч ом и во всяком случае не опускается ниже 100 тыс. *ом*. Но как было показано в § 8, для получения большого усиления от триода сопротивление анодной нагрузки должно быть велико по сравнению с внутренним сопротивлением лампы. В такой же мере это относится и к тетроду, так как его работа в качестве усилителя в принципе ничем не отличается от работы триода.

Поэтому, чтобы тетрод давал большое усиление, сопротивление его анодной нагрузки должно быть очень велико. Для достижения этой цели приходится в схемах усиления высокой частоты применять хорошие колебательные контуры (чем меньше затухание колебательного контура, тем больше его полное сопротивление токам той частоты, на которую этот контур настроен). В схемах же усиления низкой частоты по причинам, о которых мы будем говорить ниже, четырехэлектродные лампы вообще не дают удовлетворительных результатов и для этой цели не применяются.

Помимо повышения коэффициента усиления лампы добавочная сетка в тетроде при соответствующем расположении электродов позволяет решить еще одну важную задачу, о которой мы уже кратко упомянули, а именно: устранить связь между сеточной и анодной цепями через емкость, существующую между сеткой и анодом. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Так как сетка, анод и выводы от них в электронной лампе расположены сравнительно близко

друг от друга, то между ними имеется емкость, как между пластинами конденсатора.

Наличие емкости между сеткой и анодом представляет собой весьма существенный недостаток электронной лампы в тех случаях, когда она применяется для усиления колебаний высокой частоты. Если в цепи сетки и анода лампы включены колебательные контуры, то достаточно незначительной емкостной связи между анодом и сеткой, чтобы в схеме возникли паразитные колебания. В коротковолновой части радиовещательного диапазона для возникновения колебаний достаточно бывает емкости в несколько сантиметров, а такие емкости между сеткой и анодом обычной трехэлектродной лампы всегда существуют и устранить их никакими изменениями в расположении выводов и ножек не удается. Это обстоятельство препятствует применению трехэлектродной лампы в многоламповых усилителях высокой частоты, в которых собственные колебания возникают особенно легко. Даже при наличии одной лампы, усиливающей колебания высокой частоты, междуэлектродная емкость часто служит причиной возникновения собственных колебаний и затрудняет работу с приемником. Единственный путь борьбы с этим явлением — устранение емкостного (электростатического) влияния анода на сетку служит экранирование. Роль этого электростатического экрана как раз может выполнить добавочная сетка. Эта сетка располагается таким образом, чтобы она экранировала не только самый анод от управляющей сетки, но и края этих обоих электродов. Вместе с тем выводы от анода и управляющей сетки делаются так, чтобы электростатическая связь между выводами была минимальной. Все эти меры позволяют ослабить электростатическое влияние анода на управляющую сетку в десятки раз. Тетроды такой специальной конструкции обычно называют экранированными лампами.

Применяя экранированную лампу, необходимо, конечно, и во внешних цепях сетки и анода полностью устранить возможные емкостные связи между ними, т. е. применить и внешнее экранирование. Лампы с экранной сеткой обычно монтируются таким образом, что внешний экран служит продолжением внутреннего (т. е. экранной сетки), и это позволяет почти полностью устранить емкостные связи между управляющей сеткой и анодом и применять не только одну, но и несколько ступеней усиления высокой частоты. Именно для этой цели — усиления высокой и промежуточной частоты — и применяются экранированные лампы. Спо-

соб включения в схему экранной сетки был указан выше. В остальном же способ включения экранированной лампы ничем не отличается от включения трехэлектродной лампы.

Между условиями работы лампы в качестве усилителя высокой и низкой частоты есть одно существенное различие. В то время как при усилении высокой частоты дело всегда сводится к усилению слабых сигналов (на высокой частоте усиление применяется только для того, чтобы усилить приходящие напряжения до такой величины, при которой можно их с успехом продетектировать, т. е. до напряжений порядка 1 *в*), при усилении низкой частоты задача заключается в усилении напряжений уже сравнительно большой амплитуды и в получении на выходе значительных мощностей, т. е. значительных напряжений. Это последнее требование — необходимость получения больших напряжений на выходе — и делает обычный тетрод, несмотря на его хорошие усилительные качества, непригодным для усиления низкой частоты. Затруднение, которое возникает при этом, вызывается тем же эффектом анодной реакции, о котором уже говорилось ранее. Вследствие анодной реакции напряжение на аноде лампы при работе изменяется. И чем больше снимаемое с лампы переменное напряжение, тем ниже то наименьшее значение, до которого падает напряжение на аноде лампы. Поэтому при усилении больших мощностей напряжение на аноде лампы изменяется в широких пределах и в некоторые моменты времени может стать меньше, чем напряжение на экранной сетке. Тогда начинает играть роль явление вторичной эмиссии, рассмотренное нами выше, и возникает динатронный эффект.

Выбиваемые из анода вторичные электроны притягиваются экранной сеткой, и сила анодного тока уменьшается. Вследствие этого большие переменные напряжения на аноде лампы срезаются и возникают амплитудные искажения в усиливаемых сигналах.

От этого недостатка свободны специальные трехсеточные, т. е. пятиэлектродные лампы-пентоды. Третья, так называемая защитная сетка в пентоде располагается между экранной сеткой и анодом и присоединяется непосредственно к катоду внутри самой лампы (фиг. 48). Присоединенная к катоду защитная сетка всегда находится под нулевым напряжением. При этом она служит электростатическим экраном между анодом и экранной сеткой и защищает вторичные электроны от действия высокого напряжения экранной сетки. Поэтому вторичные электроны снова возвращаются

на анод, и динатронный эффект тем самым устраняется. Пентод позволяет, таким образом, полностью использовать для усиления низкой частоты и получения больших мощностей большой коэффициент усиления и другие преимущества, которыми обладает лампа с экранной сеткой.

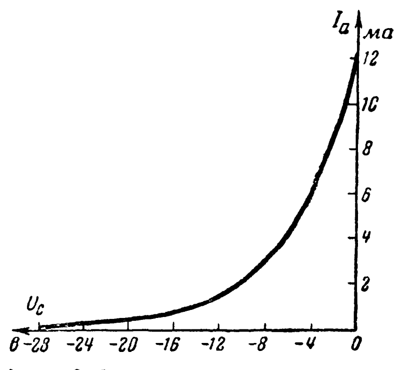
Анод
Защитная сетка
Управляющая сетка
Экранная сетка

Фиг. 48. Защитная сетка помещается между экранной сеткой и анодом и присоединяется к катоду внутри лампы.

Пентод позволяет получить такое же усиление, как и экранированная лампа, при значительно меньшем анодном напряжении. При повышенном же анодном напряжении пентод дает гораздо большее усиление, чем экранированная лампа.

Пентод с одинаковым успехом можно применять для усиления колебаний не только низкой, но и высокой частоты. Существуют специальные высокочастотные пентоды, применяемые для усиления колебаний высокой частоты.

Пентоды, предназначенные для усиления высокой частоты, часто делаются с «вытянутой» характеристикой, имеющей переменную крутизну. Эта характеристика отличается от обычной наличием в левой ее части длинного «хвоста» с очень небольшой крутизной (фиг. 49).



Фиг. 49. Характеристика лампы с переменной крутизной имеет в левой части „хвост".

Получение такой характеристики достигается тем, что управляющая сетка лампы делается в виде спирали не с равномерной, а с переменной густотой расположения витков.

При очень больших отрицательных напряжениях на управляющей сетке электроны могут пролетать только через редкую часть сетки (где спираль имеет большой шаг). При этом как бы часть лампы оказывается запертой и вследствие этого крутизна характеристики при больших отрицательных напряжениях на сетке получается небольшой.

При меньших отрицательных смещениях электроны начинают пролетать и через густую часть управляющей сетки (где она имеет малый шаг намотки), и поэтому крутизна характеристики резко увеличивается.

Переменная крутизна характеристики ламп, усиливающих колебания высокой частоты, позволяет регулировать усиление, даваемое лампой, путем изменения величины отрицательного смещения на управляющей сетке.

Регулировка усиления необходима, во-первых, для того, чтобы иметь возможность принимать с одинаковой громкостью ближние и дальние станции, что может быть обеспечено путем регулировки усиления от руки (не автоматической). Во-вторых, регулировка усиления позволяет ослабить колебания громкости, происходящие вследствие изменений силы сигнала («замирания»), особенно заметных при приеме коротких волн.

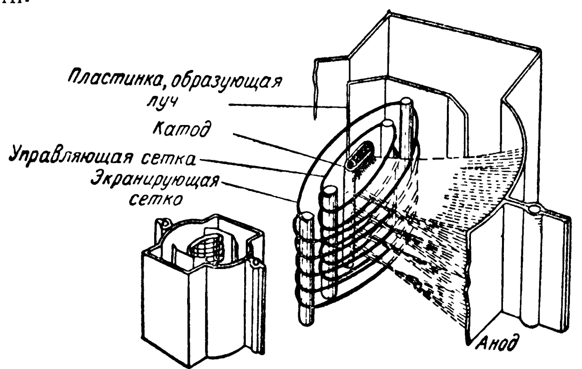
Однако в этом втором случае регулировка усиления должна быть автоматической. Лампы с переменной крутизной характеристики позволяют осуществить как ручную, так и автоматическую регулировку усиления. Конкретные способы регулировки усиления будут описаны при рассмотрении схем приемников.

Динатронный эффект, свойственный обычной экранированной лампе, может быть устранен не только путем введения в лампу третьей сетки, но и путем изменения взаимного расположения сеток и анода в экранированной лампе. Такой метод применяется в так называемом лучевом тетроде.

В этих лампах устранение динатронного эффекта достигается следующим образом. Витки управляющей и экранной сеток располагаются друг против друга так, что провода экранной сетки оказываются в «электронной тени» проводов управляющей сетки. При этом поток электронов, летящих от катода, разделяется сетками на отдельные плоские пучки «лучи» (фиг. 50). Плотность электронов в этих пучках получается гораздо бо́льшая, чем в сплошном (не разделенном на пучки) электронном потоке обычных ламп. Вследствие этого электронные пучки оказывают сильное отталкивающее действие на вторичные электроны и мешают им попадать на экранную сетку. Так как к тому же экранная сетка в лучевом тетроде расположена гораздо дальше от анода, чем в обычной лампе, то вторичные электроны практически вовсе не попадают на сетку, т. е. динатронный эффект отсутствует.

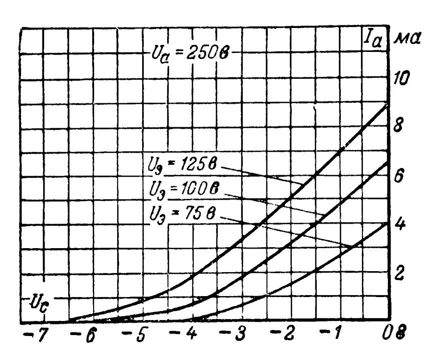
Помимо устранения динатронного эффекта описанное выше расположение витков сеток приводит к уменьшению

прямого тока электронов (летящих с катода) на экранную сетку, что также выгодно с точки зрения лучшего использования лампы и получения большей мощности. Лучевые тетроды могут в ряде случаев не только с успехом заменить пентоды, но и обладают некоторыми преимуществами перед ними.



Фиг. 50. Конструкция лучевого тетрода.

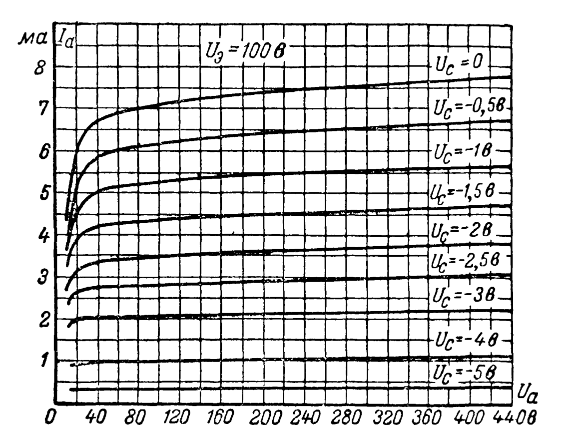
Для того, чтобы судить о свойствах многоэлектродных ламп и правильно выбрать режим их работы, пользуются либо анодно-сеточными характеристиками этих ламп, аналогичными характеристикам трехэлектродных ламп, либо характеристиками несколько иного типа. Анодно-сеточные характеристики многоэлектродных ламп, так же как и такие же характеристики трехэлектродных ламп, выражают графически зависимость анодного тока лампы от напряжения на управляющей сетке, при неизменном напряжении на аноде и на экранной сетке. Но в то время, как для триода отдельные характеристики семейства отличаются только различными напряжениями на аноде, для тетрода или пентода отдельные характеристики семейства могут отличаться различными напряжениями как на аноде, так и на экранной сетке. Для примера на фиг. 51 приведено



Фиг. 51. Семейство анодно-сеточных характеристик пентода.

семейство анодно-сеточных характеристик пентода. В основных чертах эти характеристики сходны с анодно-сеточными характеристиками триодов.

Наряду с анодно-сеточными характеристиками для выбора режима работы многоэлектродных ламп часто пользуются характеристиками, выражающими зависимость анодного тока от величины анодного напряжения, при неизменных напряжениях на управляющей и экранных сетках. Группа таких характеристик, снятых при различных (но неизменных) напряжениях на управляющей (или экранной) сетке, образует семейство анодных характеристик (фиг. 52).

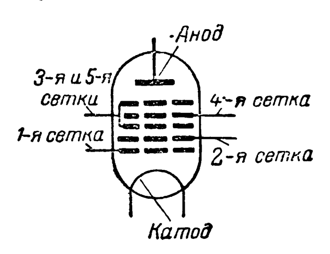


Фиг. 52. Семейство анодных характеристик пентода.

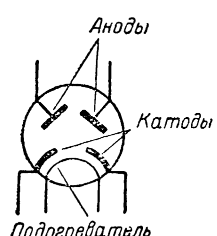
По своему виду эти характеристики существенно отличаются от анодно-сеточных характеристик. Конечно, сила анодного тока растет по мере увеличения положительного напряжения на аноде, так же как и при увеличении положительного напряжения на сетке, но закон этого роста в обоих случаях различный. С другой стороны, в то время как анодно-сеточные характеристики для разных значений анодного напряжения только сдвигаются по оси абсцисс, анодные характеристики для разных значений сеточного напряжения имеют различную крутизну и сдвигаются по оси ординат, причем чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем ниже лежит характеристика. Это вполне понятно, потому что чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем меньше анодный ток при том же самом анодном напряжении.

Применение анодных характеристик для выбора режима работы пентодов удобно потому, что пентоды, как указывалось выше, часто (например, оконечные пентоды низкой частоты) работают при очень больших изменениях напряжений на аноде. Поэтому и целесообразно пользоваться анодными характеристиками, по которым удобно проследить изменения силы анодного тока и вообще режима пентода при этих больших изменениях напряжения на аноде.

Для постройки простейшего лампового приемника прямого усиления вполне достаточно иметь лампы рассмотрен-



Фиг. 53. Изображение пятисеточной лампы в схемах. Пятисеточная лампа применяется для преобразования частоты.



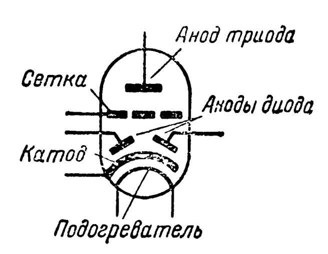
Фиг. 54. Изображение двойного диода в схемах. Двойной диод может одновременно выполнять функции детектирования и регулирования усиления.

ных здесь типов; для постройки же более сложного супергетеродинного приемника требуются специальные и более сложные лампы. Основные из них — пятисеточная лампа для преобразования частоты (фиг. 53), двойной диод для детектирования и автоматической регулировки усиления (фиг. 54), двойной диод-триод и двойной диод-пентод для выполнения тех же функций, что и двойной диод, плюс оконечное усиление низкой частоты (фиг. 55 и 56), двойной триод для оконечного усиления низкой частоты (фиг. 57), «магический глаз» для оптической настройки приемника (фиг. 58) и др.

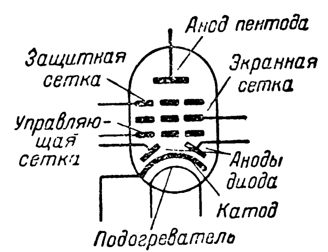
Нет, к сожалению, возможности останавливаться на описании всех этих ламп, так как это заняло бы слишком много места. Однако для последней из названных ламп, а именно для «магического глаза», следует сделать исключение, так как она находит применение даже в простейших приемниках.

«Магический глаз» представляет собой трехэлектродную лампу с добавочным управляющим электродом и флюоресцирующим экраном и применяется в приемниках как оптический индикатор настройки.

Конструкция «магического глаза» изображена на фиг. 59. Катод этой лампы расположен вертикально и проходит от основания лампы до ее верха. Анод выполнен в виде цилиндра, длина которого меньше длины катода, поэтому



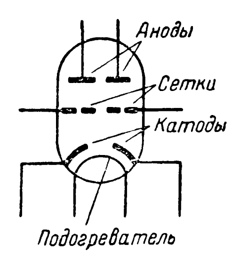
Фиг. 55. Изображение двойного диода-триода в схемах. Двойной диод-триод кроме выполнения функций двойного диода служит одновременно для усиления колебаний низкой частоты.



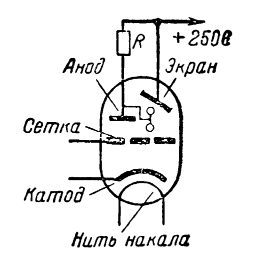
Фиг. 56. Изображение двойного диода-пентода в схемах. Двойной диод-пентод выполняет те же функции, что и двойной диод-триод.

верхняя часть катода не окружена анодом. Сетка имеет такую же длину, как и анод.

В верхней части лампы расположен флюоресцирующий экран, имеющий форму чашечки или воронки. Сквозь отвер-



Фиг. 57. Изображение двойного триода в схемах. Двойной триод применяется в оконечной ступени усиления.

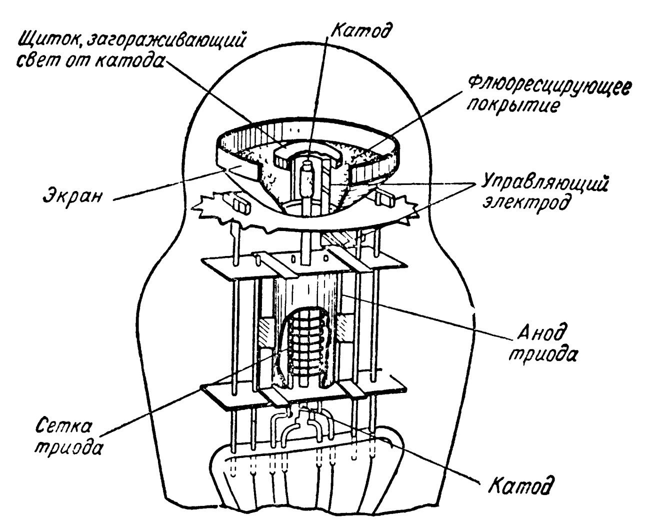


Фиг. 58. Изображение оптического индикатора настройки в схемах.

стие в центре экрана проходит катод. Электроны, излучаемые верхней частью катода, летят к экрану, находящемуся под более высоким напряжением, чем анод, и, ударяясь об экран, вызывают его свечение. С одной стороны катода (между верхней частью катода и экраном) находится управ-

ляющий электрод, соединенный с анодом, он имеет форму плоского ножа.

Если анод, а следовательно, и управляющий электрод находятся под напряжением, меньшим, чем напряжение на экране, то электроны, излучаемые верхней частью катода, не будут лететь в сторону управляющего электрода и около него образуется тень в виде сектора, угол которого будет тем больше, чем больше разность потенциалов между экра-



Фиг. 59. Конструкция оптического индикатора настройки.

ном и анодом. Если же напряжения на аноде и экране будут равны, то темный сектор совершенно исчезнет.

При отсутствии отрицательного напряжения на сетке «магического глаза» (т. е. в отсутствие сигнала) через него протекает анодный ток, создающий падение напряжения на сопротивлении R (фиг. 58). Благодаря этому напряжение на аноде оказывается меньшим, чем напряжение на экране, и возле управляющего электрода образуется темный сектор.

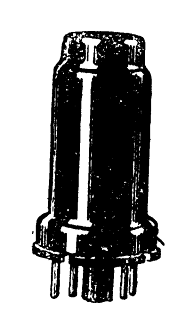
При настройке на какую-либо станцию за счет усиленного переменного напряжения сигналов этой станции при помощи диода создается постоянное отрицательное напряжение на сетке «магического глаза». Анодный ток лампы уменьшается, падение напряжения на сопротивлении R также уменьшается, напряжение на управляющем электроде

приближается к напряжению экрана и темный сектор становится более узким. Поэтому, когда темный сектор сжимается до предела, это значит, что приемник настроен точно на принимаемую станцию.

12. ТИПЫ РАДИОЛАМП

Отечественная промышленность выпускает очень большое количество приемно-усилительных ламп самых разнообразных типов. Разобрать или хотя бы перечислить все эти типы нет возможности. Здесь будут описаны лишь наиболее распространенные из современных конструкций отечественных ламп.

Самым многочисленным классом отечественных приемно-усилительных ламп являются так называемые металлические лампы. Внешний вид металлической лампы изображен на фиг. 60. Все электроды такой лампы заключены внутри металлического баллона. Выводы для соединения электродов лампы со схемой сделаны через дно лампы при помощи герметических втулочек из специального стекла. В некоторых лампах вывод управляющей сетки присоединяется к изолированному контакту на верху баллона лампы, как это изображено на фиг. 61; соединяется этот контакт со схемой при помщи надеваемого на него металлического колпачка. Последний же с помощью гибкого проводника соединен с соответствующей точкой схемы.



Фиг. 60. Внешний вид лампы с металлическим баллоном.

Все остальные выводы присоединяются к ножкам нижнего цоколя. При уставке лампы в приемник ножки нижнего цоколя входят в гнезда ламповой панели приемника, осуществляя соединение лампы со схемой (фиг. 62).

Полное число ножек в цоколе металлической лампы равно восьми (октальный цоколь); наибольшее число выводов, которое может иметь металлическия лампа, считая и верхний вывод, равно девяти. Наибольшее же число электродов в металлической лампе не может превышать семи, так как все металлические лампы являются подогревными и поэтому два вывода у них из имеющихся девяти выделяются для подогревателя (нити).

Лампы металлической серии выпускаются с напряжением накала 6,3 *в*. Кроме этого выпускаются лампы с на-

пряжениями накала 12,6, 30 *в* и др. Назначение этих ламп с повышенным напряжением накала — непосредственное (без трансформаторов) питание от сети переменного или постоянного тока. Более подробно применение этих ламп будет описано в главе третьей

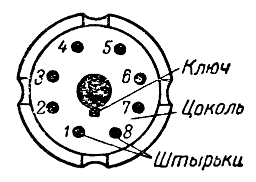


Фиг. 61. В некоторых металлических лампах вывод сетки сделан наверху. Для включения сетки в схему служит гибкий шнур с металлическим наконечником.



Фиг. 62. Соединение лампы со схемой осуществляется при помощи ламповой панели.

Число типов ламп металлической серии очень велико и продолжает беспрерывно увеличиваться, следуя за ростом потребностей приемно-усилительной техники. В последнее время многие типы ламп «металлической серии» стали выпускаться со стеклянным баллоном. К названию таких ламп добавляется буква С, например 6Ф6 (с металлическим баллоном) и 6Ф6С (со стеклянным баллоном).



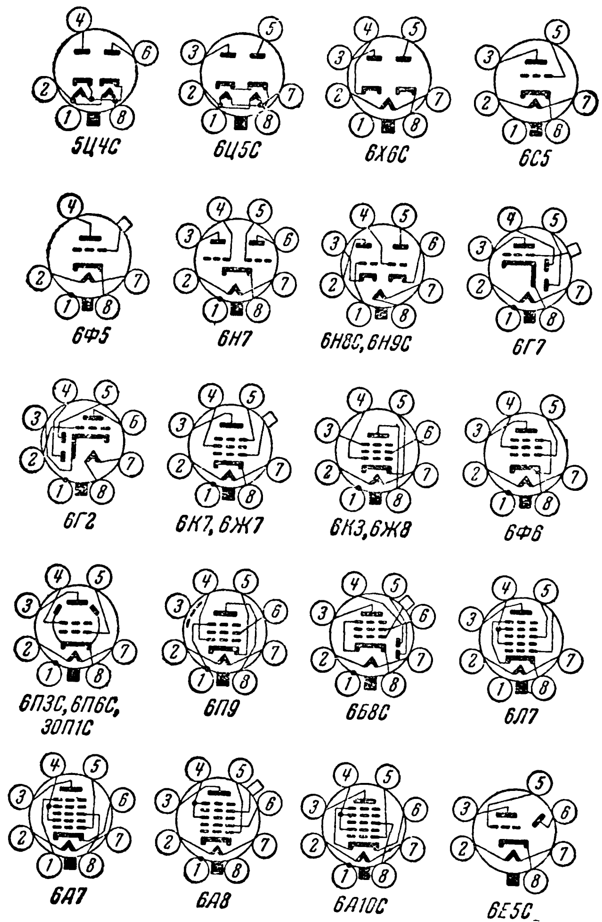
Фиг. 63. Цоколь металлической лампы. Штырьки расположены по окружности.

Ножки на цоколе металлической лампы расположены по окружности, на равном расстоянии друг от друга (фиг. 63).

Для обеспечения правильного вставления лампы в приемник на ее цоколе имеются направляющий ключ, а в центре ламповой панельки — отверстие с вырезом, исключающие возможность неправильной установки лампы. Система цоколевки (расположения ножек), принятая для ламп металлической серии, называется октальной. На фиг 64 изображена цоколевка

различных типов ламп металлической серии и ламп того же вида со стеклянным баллоном (вид снизу).

Лампы металлической серии можно и следует применять только в приемниках с питанием от электрических сетей.



Фиг. 64. Цоколевка металлических ламп и ламп тех же типов со стеклянным баллоном.

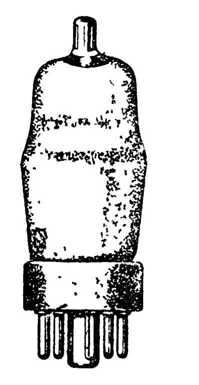
Для приемников же с питанием от батарей или аккумуляторов необходимы более экономичные лампы, каковыми являются лампы прямого накала.

Все отечественные лампы прямого накала изготовляются со стеклянными баллонами. Лет 15—20 назад наиболее рас-

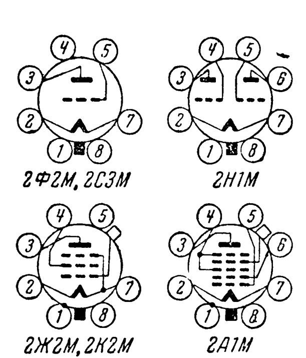
пространенными были лампы прямого накала с напряжением накала 4 *в*.

В дальнейшем лампы с 4-*в* накалом уступили место более экономичным, так называемым малогабаритным лампам (фиг. 65).

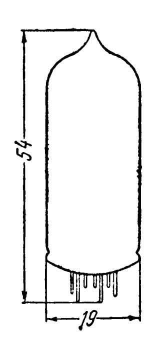
В эту серию входят немногим более десяти малогабаритных ламп различного назначения, представляющих все основные типы ламп, необходимые для постройки хорошего лампового приемника.



Фиг. 65. Малогабаритная лампа.



Фиг. 66. Цоколевка малогабаритных ламп.



Фиг. 67. Пальчиковая лампа.

Напряжение накала у большинства малогабаритных ламп равно 2 *в*, а ток накала лежит в пределах от 60 до 320 *ма*.

Система цоколевки у малогабаритных ламп такая же, как и у металлических. На фиг. 66 изображена цоколевка (вид снизу) некоторых малогабаритных ламп. С целью экранировки баллоны большинства малогабаритных ламп металлизируются (покрываются металлическим порошком).

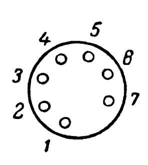
В последнее время появились еще более экономичные и миниатюрные лампы прямого накала, называемые «пальчиковыми». Эти лампы, несомненно, найдут очень широкое применение, особенно в сельских местностях.

На фиг. 67 изображена пальчиковая лампа в натуральную величину.

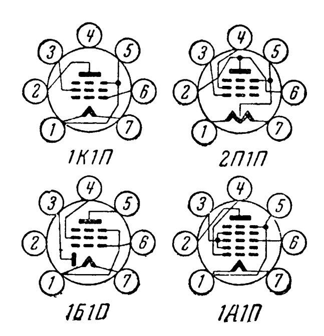
Ножки пальчиковой лампы расположены на цоколе по окружности на равных расстояниях друг от друга кроме первого и седьмого штырьков, расстояние между которыми

увеличено вдвое (фиг. 68), благодаря чему исключается возможность неправильного вставления лампы в гнезда панельки. Система цоколевки пальчиковых ламп приведена на фиг. 69.

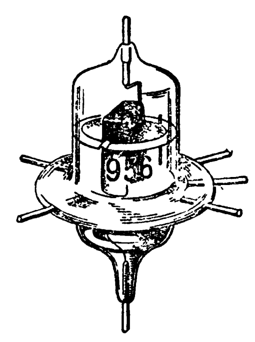
Напряжение накала пальчиковых ламп равно 1,2 *в*, а ток накала — 60 *ма*. Одна из ламп (оконечный пентод



Фиг. 68. Расположение ножек на цоколе пальчиковой лампы. Расстояние между первым и седьмым штырьками увеличено.

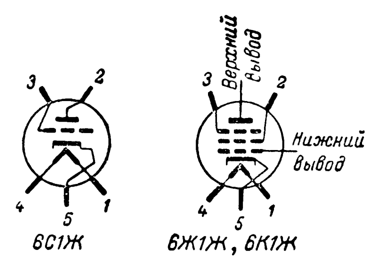


Фиг. 69. Цоколевка пальчиковых ламп.



Фиг. 70. Лампа типа „жолудь".

2П1П) имеет два катода, которые можно соединять как последовательно, так и параллельно или включать в цепь только один из них. При последовательном соединении катодов общее напряжение накала этой лампы повышается до 2,4 *в*, а ток накала равен 60 *ма*; при параллельном же соединении обоих катодов напряжение накала остается равным 1,2 *в*, а ток накала возрастает вдвое, т. е. до 120 *ма*. При работе только с одним катодом уменьшается потребляемая на накал нити мощность, но зато падает и выходная мощность лампы.



Фиг. 71. Цоколевка ламп „жолудь".

В заключение надо кратко сказать о лампах еще одного класса, о так называемых «жолудях». Эти лампы имеют еще меньшие размеры, чем пальчиковые лампы. На фиг. 70 изображена лампа типа «жолудь». Как видно из фигуры, такая лампа не имеет цоколя. Выводы от ее электродов сделаны в виде проволочек, выходящих в разные стороны непосредственно из баллона лампы. Для соединения лампы

ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ЛАМПЫ

Таблица 1

Обозначение: Старое	Обозначение: Новое	Наименование	Напряжение накала, *в*	Ток накала, *ма*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение смещения, *в*	Анодный ток, *ма*	Ток экранной сетки, *ма*	Крутизна, *ма/в*	Коэффициент усиления	Внутреннее сопротивление, *ком*	Сопротивление нагрузки, *ком*	Выходная мощность, *вт*	Максимальная мощность рассеяния на аноде, *вт*
		Батарейные пальчиковые лампы													
1К1П	1К1П	Пентод	1,2	60	90	45	0	1,8	0,65	0,75	—	800	—	—	—
2П1П	2П1П	Оконечный пентод	1,2	120	90	90	—4,5	9,5	2,1	2,15	—	100	10	0,27	—
1Б1П	1Б1П	Диод-пентод	1,2	60	90	—	0	—	—	—	—	—	1000	—	—
1А1П	1А1П	Пентод-преобразователь	1,2	60	90	45	0	0,8	1,9	0,25	—	800	—	—	—
		Батарейные малогабаритные лампы													
2Ф2М	2Ф2М	Триод	2	60	120	—	—4	2,0	—	1,2	20	16	—	—	0,8
УБ-240	2С3М	Триод	2	120	120	—	—2,5	1,5	—	1,5	22	17	40	0,02	0,6
СО-243	2Н1М	Двойной триод	2	240	120	—	—2	1,2	—	1,0	32	32	4000	0,8	1,5
2Ж2М	2Ж2М	Пентод	2	60	120	70	—1	1,0	0,3	0,8	1200	1500	—	—	0,5
2К2М	2К2М	Пентод с переменной крутизной	2	60	120	70	—0,5	2,0	0,6	0,95	950	1000	—	—	0,5
СБ-242	2А1М	Гептод-преобразователь	2	160	120	70	0	2,2	2,2	0,45	—	150	—	—	0,7
		Подогревные лампы													
5Ц4С	5Ц4С	Кенотрон	5,0	2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6Х5С	6Ц5С	Двойной диод	6,3	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6Х6	6Х6С	Двойной диод	6,3	300	117	—	—	8,0	—	—	—	—	—	—	—
6С5		Триод	6,3	300	250	—	—8,0	8,0	—	2,0	20	10	—	—	2,6
6Ф5		Триод	6,3	300	250	—	—2,0	0,9	—	1,5	100	66	—	—	0,4
6Н7		Двойной триод (**класс Б**)	6,3	800	300	—	0	35,0	—	—	24	—	8	10,0	11
6SN7	6Н8С	Двойной триод	6,3	600	250	—	—8,0	9,0	—	2,6	20	7,7	—	—	2,5

(Продолжение табл. 1)

Обозначение: Старое	Обозначение: Новое	Наименование	Напряжение накала, *в*	Ток накала, *ма*	Напряжение на аноде, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение смещения, *в*	Анодный ток, *ма*	Ток экранной сетки, *ма*	Крутизна, *ма/в*	Коэффициент усиления	Внутреннее сопротивление, *ком*	Сопротивление нагрузки, *ком*	Выходная мощность, *вт*	Максимальная мощность рассеяния на аноде, *вт*
6SL7	6Н9С	Двойной триод	6,3	300	250	—	— 2,0	2,3	—	1,6	70	44	—	—	1,0
6F7	6Г7	Двойной диод-триод	6,3	300	250	—	— 3,0	1,1	—	1,2	70	58	—	—	2,0
6SQ7	6Г2	Двойной диод-триод	6,3	300	250	—	— 3,0	1,1	—	1,2	70	50	—	—	2,0
6Ж7	6Ж7	Пентод	6,3	300	250	100	— 3,0	2,0	0,5	1,2	—	1000	—	—	0,75
6K7	6К7	Пентод с переменной крутизной	6,3	300	250	125	— 3,0	7,5	1,8	1,45	—	800	—	—	2,25
6SJ7	6Ж8	Пентод	6,3	300	250	100	— 3,0	3,0	0,5	1,3	1650	1000	—	—	0,75
6SK7	6К3	Пентод с переменной крутизной	6,3	300	250	100	— 3,0	9,0	2,6	2,5	1600	800	—	—	3,0
6Ф6	6Ф6	Оконечный пентод	6,3	700	250	250	−16,5	34,0	7,0	2,5	—	78	7,0	3,2	10,0
6П3	6П3С	Лучевой тетрод	6,3	900	250	250	−14,0	72,0	5,0	6,0	150	25	2,5	5,5	20,5
6V6	6П6С	Лучевой тетрод	6,3	450	250	250	−12,5	45,0	4,5	4,1	—	52	5,0	4,5	12,0
30П1М	30П1С	Лучевой тетрод	30,0	300	110	110	— 7,5	70,0	12,0	10,0	—	—	1,8	0,5	7,0
6AG7	6П9	Пентод	6,3	650	300	150	— 3,0	30,0	6,5	11,7	—	130	10,0	3,0	9,0
6Б8М	6Б8С	Двойной диод-пентод	6,3	300	250	125	— 3,0	9,0	2,3	1,3	—	600	—	—	2,5
6Л7	6Л7	Гептод-смеситель	6,3	300	250	100	— 3,0	2,4	7,1	0,38	—	600	—	—	1,75
6SA7	6А7	Гептод-преобразователь	6,3	300	250	100	0	3,5	8,5	0,45	—	1000	—	—	—
6A8	6А8	Гептод-преобразователь	6,3	300	250	100	— 3,0	3,5	2,7	0,55	—	360	—	—	1,0
6A10	6А10С	Гептод-преобразователь	6,3	300	250	100	0	3,5	8,5	0,45	—	1000	—	—	—
6E5	6Е5С	Электронный индикатор	6,3	300	250	—	— 8,0	0,2	—	—	—	—	—	—	—
		„Желуди"													
955	6С1Ж	Триод УКВ	6,3	150	180	—	— 5,0	4,3	—	2,0	25	12,5	20,0	0,16	1,5
954	6Ж1Ж	Пентод УКВ	6,3	150	250	100	— 3,0	3,0	0,7	1,6	1800	12	—	—	1,2
956	6К1Ж	Пентод УКВ с переменной крутизной	6,3	150	250	100	— 3,0	3,0	0,6	1,6	1600	11	—	—	1,2

«жолудь» со схемой требуются специальные кольцевые панельки.

Напряжение накала ламп «жолудь» равно 6,3 *в*, а ток накала — 150 *ма*. Катод этих ламп — подогревный. Цоколевка ламп «жолудь» изображена на фиг. 71.

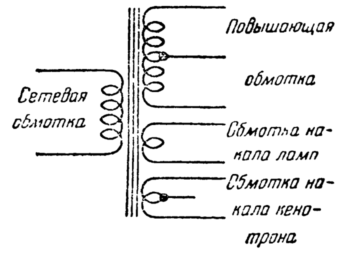
Основные данные и параметры наиболее часто применяемых ламп прямого и косвенного накала приведены в табл. 1.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПИТАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОТ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

13. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Для питания анодных цепей радиоприемника, как мы уже знаем, необходим постоянный ток. Превращение переменного тока в постоянный производится при помощи выпрямителей тока. С одним из выпрямителей (кенотронным) мы уже вкратце познакомились в предыдущей главе. В этой главе мы рассмотрим более подробно устройство и работу кенотронного выпрямителя, а также познакомимся с некоторыми другими типами выпрямителей, применяемыми в радиолюбительской практике.



Фиг. 72. Схематическое изображение силового трансформатора.

В выпрямителе производится не только превращение переменного тока в постоянный, но и предварительное изменение напряжения переменного тока до величин, требуемых для питания различных цепей приемника. Изменение напряжения осуществляется при помощи силового трансформатора.

Силовой трансформатор состоит из стального сердечника и нескольких обмоток, намотанных изолированными проводами различных сечений. Обмотка, включаемая в сеть переменного тока, называется первичной или сетевой. Все остальные обмотки называются вторичными. Вторичная обмотка, питающая анодные цепи ламп, обычно является повышающей, а вторичные обмотки, питающие цепи накала ламп,— понижающими напряжение. Эти последние обычно называют «накальными обмотками».

На фиг. 72 изображен схематически силовой трансформатор с четырьмя обмотками — первичной, повышающей и двумя накальными.

Принцип действия силового трансформатора, как и всякого трансформатора вообще, заключается в следующем. При протекании переменного тока по виткам первичной обмотки, внутри и вокруг нее создается переменное магнитное поле.

Силовые линии этого поля пересекают витки вторичных обмоток, и так как магнитный поток, пронизывающий вторичные обмотки, все время изменяется, то в этих обмотках наводятся э. д. с. индукции. Стальной сердечник трансформатора служит для усиления магнитного потока, благодаря чему увеличиваются э. д. с. индукции.

Величина магнитного потока в стальном сердечнике трансформатора зависит от напряжения электросети и числа витков первичной обмотки, а также от сечения сердечника. Электродвижущие силы, индуктируемые во вторичных обмотках, зависят от магнитного потока в сердечнике и от количества витков во вторичных обмотках. В конечном счете э. д. с., возбуждаемые во вторичных обмотках трансформатора, зависят от напряжения сети и отношения числа витков первичной обмотки к числам витков вторичных обмоток. На каждый виток как первичной, так и вторичной обмоток приходится одно и то же напряжение. Если, например первичная обмотка состоит из 1 000 витков, а вторичная — из 2 000 витков, то напряжение на зажимах ненагруженной вторичной обмотки (при холостом ходе) будет в 2 раза больше напряжения сети.

Отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной называют коэффициентом трансформации, мы будем обозначать его буквой n. Коэффициент трансформации указывает, во сколько раз напряжение на вторичной обмотке больше (если n больше 1) или меньше (если n меньше 1), чем напряжение, подводимое к первичной обмотке.

Мощность, отдаваемая трансформатором цепям приемника, всегда несколько меньше мощности, потребляемой трансформатором из сети. Рассмотрим, куда расходуется эта избыточная мощность.

Обмотки трансформатора всегда обладают некоторым активным сопротивлением, и поэтому ток, протекая по обмоткам, нагревает их. Потери энергии на нагревание обмоток называют потерями в меди.

Часть энергии магнитного поля первичной обмотки затрачивается на периодическое перемагничивание (с частотой переменного тока) стального сердечника трансформатора. Это перемагничивание связано с преодолением некоторых сил (подобных силам трения), действующих внутри стали. Из-за наличия этих сил намагничивание стали всегда несколько отстает от изменений намагничивающего тока. Это явление носит название магнитного гистерезиса. При перемагничивании часть энергии намагничивающего поля затрачивается на преодоление указанных выше сил, обусловливающих гистерезис. Затраченная на преодоление этих сил работа превращается в тепло, и сердечник трансформатора нагревается. Эти потери называются потерями на гистерезис.

В сердечнике трансформатора индуктируются вихревые токи, также нагревающие сердечник. Потери на гистерезис и на вихревые токи называются потерями в стали.

Для уменьшения потерь в меди следует выбирать для обмоток трансформатора провода надлежащих сечений.

Для уменьшения потерь на гистерезис имеет большое значение выбор размеров сердечника, число витков первичной обмотки и качество стали, примененной для сердечника.

С целью уменьшения потерь на гистерезис сердечники трансформаторов изготовляют из специальной трансформаторной стали (мягкой стали), в которой гистерезис почти отсутствует.

Что касается потерь на вихревые токи, то для их уменьшения сердечники трансформаторов изготовляются из отдельных листов трансформаторной стали толщиной в 0,3—0,5 *мм*, изолированных друг от друга папиросной бумагой или слоем лака.

Для большинства любительских трансформаторов мощность, потребляемая из сети, примерно на 20% превышает мощность, отдаваемую трансформатором.

Таким образом, мощность, потребляемую трансформатором из сети, можно приблизительно определить, умножив суммарную мощность, потребляемую всеми нагрузками вторичных обмоток, на 1,2, т. е.

$$P_1 = 1,2P_2.$$

Суммарная мощность P_2, отдаваемая трансформатором, составляется из следующих величин:

1. Мощности, потребляемой во всех анодных цепях и цепях экранных сеток приемника, и мощности потерь на

внутреннем сопротивлении кенотрона и в сглаживающем фильтре. Всю эту мощность можно примерно считать равной удвоенному[1] произведению выпрямленного напряжения на выпрямленный ток, т. е.

$$P_в = 2I_0U_0,$$

где $P_в$ — суммарная мощность, отдаваемая повышающей обмоткой;

I_0 и U_0 — выпрямленные ток и напряжение.

2. Суммарной мощности накала ламп приемника. Эта мощность равна напряжению накала, умноженному на суммарную силу тока накала всех ламп, т. е.

$$P_{н.л} = U_{н.л} \cdot I_{н.л}.$$

3. Мощности накала кенотрона, равной произведению напряжения и силы тока накала кенотрона, т. е.

$$P_{н.к} = U_{н.к} \cdot I_{н.к}.$$

Таким образом, мощность P_1, потребляемая трансформатором из сети, будет равна:

$$P_1 = 1,2\,(P_в + P_{н.л} + P_{н.к}).$$

Приведем пример расчета мощности силового трансформатора для питания четырехлампового приемника, потребляющего выпрямленный ток силой 0,06 *а* при напряжении 240 *в* и ток накала силой 2,5 *а* при напряжении накала 6,3 *в*.

На накал кенотрона (5Ц4С) требуется ток силой 2 *а* при напряжении 5 *в*.

Определим мощности, отдаваемые вторичными обмотками.

Мощность, отдаваемая повышающей обмоткой:

$$P_в = 2I_0U_0 = 2 \cdot 0,06 \cdot 240 = 29 \text{ вт}.$$

Мощность, отдаваемая обмоткой накала ламп приемника:

$$P_{н.л} = I_{н.л} \cdot U_{н.л} = 2,5 \cdot 6,3 = 16 \text{ вт}.$$

Мощность, отдаваемая обмоткой накала кенотрона:

$$P_{н.к} = I_{н.к}U_{н.к} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ вт}.$$

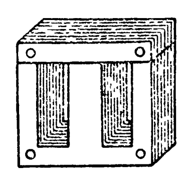
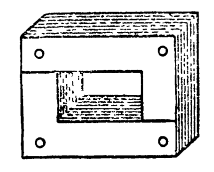
Мощность, потребляемая трансформатором из сети:

$$P_1 = 1,2\,(P_в + P_{н.л} + P_{н.к}) = 1,2\,(29 + 16 + 10) = 66 \text{ вт}.$$

---

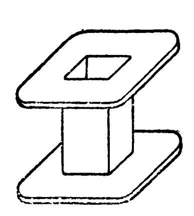
[1] Коэффициент 2 взят на основе опыта расчета радиолюбительских маломощных трансформаторов (до 100 *вт*).

Зная мощность трансформатора и мощности отдельных его обмоток, можно подобрать соответствующий трансформатор из имеющихся в продаже или приступить к расчету и изготовлению самодельного трансформатора. Расчет силовых трансформаторов довольно сложен. Поэтому начинающему радиолюбителю лучше всего приобрести готовый трансформатор или приступить к изготовлению одного из типовых трансформаторов, данные которых приведены в табл. 2.

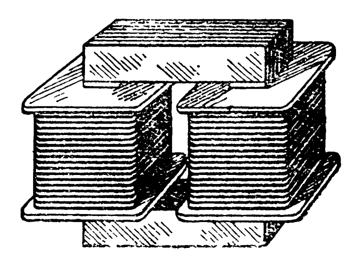



Фиг. 73. В трансформаторах обычно применяются сердечники одного из этих двух типов.

Пластины для трансформаторных сердечников изготовляются обычно в виде буквы Ш или в виде буквы Г (фиг. 73). Сердечник должен быть плотно стянут болтами, иначе трансформатор во время работы будет сильно гудеть. Стяжные шпильки следует изолировать от пластин сердечника трубочками из бумаги, чтобы преградить путь вихревым токам.



Фиг. 74. Каркас для обмоток трансформатора, сделанный из прессшпана.



Фиг. 75. Часто обмотки трансформатора делят пополам и наматывают на два каркаса.

Обмотки наматываются на каркас, склеенный из прессшпана и пропитанный парафином (фиг. 74). Первой наматывается первичная (сетевая) обмотка, поверх ее — повышающая, а затем — накальные обмотки. Каждая обмотка изолируется от соседних обмоток 2—3 слоями парафинированной бумаги При намотке повышающей и сетевой обмоток следует через каждые 2—3 ряда витков прокладывать по 2—3 слоя такой же бумаги.

В том случае, если обмотки укладываются не на одном, а на двух каркасах (фиг. 75), сетевую и повышающую об-

Таблица 2

Данные фабричных силовых трансформаторов

Условное обозначение	Сечение сердечника, *см²*	Сетевая обмотка		Рассчитан на напряжение сети, *в*	Повышающая обмотка, *мм*		Обмотка накала кенотрона		Обмотка накала ламп		Мощность, *в*
		Число витков	Диаметр провода, *мм*		Число витков	Диаметр провода, *мм*	Число витков	Диаметр провода, *мм*	Число витков	Диаметр провода, *мм*	
6Н-1 старый	10,5	(359+55)×2	0,33	110—127—220	1 060×2	0,16	18	0,93	23	1,0	70
6Н-1 новый	11,5	(400+60)×2	0,33	110—127—220	1 170×2	0,16	20	0,93	26	0,98	70
6Н 25	—	(280+44)×2	0,41	110—127—220	900×2	0,2	14	0,93	18	1,1	100
„Салют"	14,7	(359+55)×2	0,33	110—127—220	1 200×2	0,17	17	0,9	21	1,0	75
М-557	10	372+58+315	0,51+0,51+0,35	110—127—220	1 000×2	0,16	18	0,8	23	0,9	60
„Пионер-47"	10	441+69+376	0,4+0,4+0,3	110—127—220	1 250×2	0,14	23	ПЭ 1,0	29	ПЭ 1,0	70
„Рига" Т-689	—	341+53+288	0,6+0,6+0,45	110—127—220	1 050×2	0,2	16	1,0	10,5×2	1,5	110
„Минск"	12,5	373+81+401	0,5+0,5+0,36	110—127—220	1 130×2	0,15	25	0,9	30	1,0	—
„Электросигнал-2"	11,2	(400+60)×2	0,33	110—127—220	865×2	0,18	20	1,0	26	1,0	70
„Ленинград"	25	(202+31)×2	0,44	110—127—220	630×2	0,15	10+10	1,0	13	1,2	120
„Урал-17"	13,44	(400+60)×2	0,31	110—127—220	1 320×2	0,15	20	0,8	26	0,8	80
„Рига" Т-755	—	450+69+380	0,45+0,45+0,3	110—127—220	1 220×2	0,16	21	0,93	28	0,93	50

мотки делят пополам и наматывают по одной половине обмотки на каждый каркас. После сборки трансформатора половинки обмоток соединяют последовательно, следя за тем, чтобы магнитные потоки, создаваемые током, текущим в обеих половинах обмотки, были направлены в одну сторону, а не навстречу.

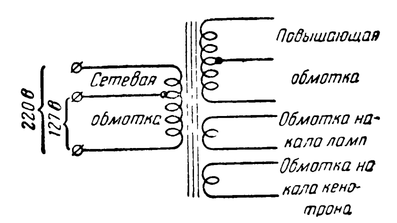
Намотанные катушки обертываются сверху слоями плотной бумаги, материи или кембрика. Выводы от начала, конца и средних точек обмоток делаются мягким проводом, изолируются от обмоток бумагой и пропускаются сквозь заранее приготовленные отверстия в щечках каркаса.

Для обеспечения правильного режима питания ламп требуются вполне определенные напряжения на зажимах вторичных обмоток. Поэтому при фиксированных числах витков всех обмоток, а значит и фиксированных коэффициентах трансформации, для обеспечения правильного режима питания необходимо к первичной обмотке силового трансформатора подводить вполне определенное напряжение. Между тем напряжение в осветительных сетях переменного тока не всегда бывает одно и то же. Прежде всего и номинальное напряжение в сетях может быть различным — применяются напряжения в 220, 127 (а иногда и 110) *в*. Кроме того, практически напряжение в сети может несколько отличаться от номинального; чаще оно при этом бывает ниже номинального вследствие падения напряжения в сети при большой ее нагрузке. Для того чтобы можно было обеспечить правильный режим питания приемника при различных напряжениях в питающей сети, применяются силовые трансформаторы с первичной обмоткой, разбитой на отдельные секции.

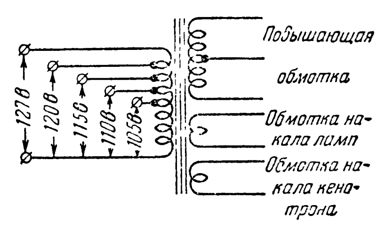
Как вытекает из сказанного ранее, чем ниже напряжение сети, тем меньше должно быть число витков первичной обмотки для того, чтобы на зажимах вторичной получилось одно и то же напряжение (так как напряжение сети, приходящееся на один виток первичной обмотки, всегда должно быть одним и тем же).

Поэтому, например, чтобы трансформатор позволял питать приемники от сетей как 220 *в*, так и 127 *в*, первичная обмотка трансформатора разбивается на две не совсем одинаковые части (фиг. 76), причем в сеть напряжением 220 *в* включается вся обмотка, а в сеть 127 *в* — часть обмотки, содержащая несколько больше половины числа витков. Для того чтобы поддерживать правильный режим питания приемника при небольших изменениях напряжения в сети (обу-

словленных колебаниями нагрузки), в конце первичной обмотки делается несколько отводов (фиг. 77). Присоединяя провод сети к одному из этих отводов, мы включаем



Фиг. 76. Трансформатор с разделенной на две части первичной обмоткой для включения в сети напряжением 220 и 127 *в*.



Фиг. 77. Трансформатор с отводами от части витков позволяет получить постоянное напряжение во вторичной обмотке, несмотря на изменения напряжения в сети.

в сеть различное число витков первичной обмотки, и этим самым можем обеспечить почти неизменное напряжение на вторичных обмотках, несмотря на изменения напряжения в сети.

14. КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

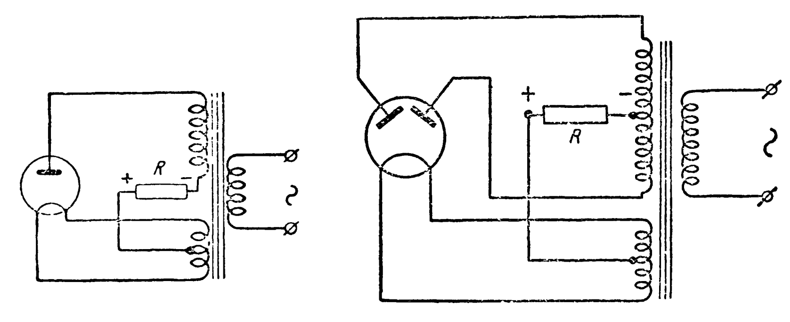
Принцип работы кенотронного выпрямителя и процессы, в нем происходящие, в общих чертах были рассмотрены в главе первой. Сейчас мы рассмотрим более подробно устройство кенотронных выпрямителей и некоторые их особенности как источников высокого напряжения.

Принципиальные схемы кенотронных выпрямителей были приведены на фиг. 8 и 10. Однако в этих схемах для упрощения было изображено питание накала кенотрона от специальной батареи.

В действительности нет никакой необходимости питать накал кенотрона от батареи, так как для этого можно воспользоваться специальной понижающей обмоткой силового трансформатора. Этот способ питания накала кенотрона и применяется на практике. На фиг. 78 и 79 приведены схемы наиболее простых и экономичных однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей, в которых накал кенотрона производится от силового трансформатора.

Помимо собственно выпрямителя, превращающего переменный ток в пульсирующий, для питания анодов ламп необходим еще сглаживающий фильтр, назначение которого следующее. Для питания анодов усилительных ламп необходимо напряжение, вполне постоянное по величине. Между

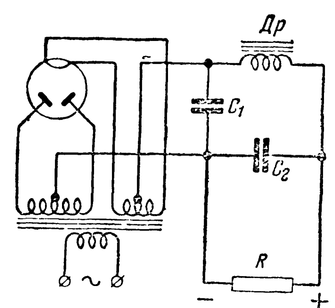
тем кенотрон дает пульсирующий ток, т. е. ток постоянный по направлению, но изменяющийся по величине. Такой пульсирующий ток непригоден для питания усилительных ламп, так как пульсации напряжения вызывают появление сильно-



Фиг. 78. Однополупериодный выпрямитель.

Фиг. 79. Двухполупериодный выпрямитель.

го фона переменного тока. Пульсирующий ток можно рассматривать как результат сложения двух токов: одного постоянного и по направлению и по величине — так называемая постоянная слагающая — и другого обычного переменного тока — так называемая переменная слагающая пульсирующего тока. С этой точки зрения, чтобы пользоваться выпрямленным током для питания анодов ламп, необходимо отделить эти два тока друг от друга и преградить доступ переменному напряжению к анодам ламп. Для этой цели и служат сглаживающие фильтры, которые обычно состоят из катушек с сердечником, обладающих большой индуктивностью и поэтому представляющих большое сопротивление для переменного тока (такие катушки называются дросселями), и конденсаторов большой емкости, представляющих для него малое сопротивление. Обычно в сглаживающем фильтре применяются один дроссель *Др* и два конденсатора *C*, включаемые так, как указано на фиг. 80, т. е. кон-



Фиг. 80. Сглаживающий фильтр состоит из дросселя большой индуктивности и конденсаторов большой емкости.

денсаторы — параллельно кенотрону и нагрузке, а дроссель *Др* — последовательно с ней. Дроссель не пропускает к нагрузке переменной составляющей анодного тока, и она замыкается через конденсаторы. Поэтому через нагрузку *R* (цепи анодов ламп усилителя) проходит только постоянная составляющая выпрямленного тока. Таким образом, фильтры сглаживают пульсации выпрямленного тока.

Конечно, сглаживание это никогда не бывает идеальным. Переменная составляющая всегда в той или иной степени проникает через фильтр на аноды ламп. Идеальное сглаживание получилось бы только в том случае, если бы сопротивление дросселя для переменной составляющей было бы бесконечно велико или если бы сопротивление конденсатора для этой составляющей было бесконечно мало. Однако в действительности сопротивление дросселя переменному току хотя и может быть сделано большим, но все же оно не может быть бесконечно велико, а сопротивление конденсатора хотя и может быть сделано малым, все же не бесконечно мало. Но если переменная составляющая, проникающая на аноды ламп вследствие неидеального сглаживания, достаточно мала, то она не вызывает заметного фона переменного тока. Поэтому от сглаживающего фильтра требуется, чтобы он не полностью устранил, а лишь достаточно ослабил переменную составляющую. Для того чтобы фон переменного тока не мешал приему, достаточно ослабить переменную составляющую в 50—70 раз. Вопрос о том, каков должен быть сглаживающий фильтр, чтобы он выполнил эту задачу, будет рассмотрен немного позже, а сейчас остановимся на другом вопросе.

Данный сглаживающий фильтр тем лучше выполнит свою задачу, чем выше частота той переменной составляющей, которую он должен отфильтровать. В самом деле, при одних и тех же дросселях и конденсаторах фильтра сопротивление для переменной составляющей у первых будет тем больше, а у вторых тем меньше, чем выше частота переменной составляющей. Поэтому ослабление переменной составляющей во всяком сглаживающем фильтре будет тем больше, чем выше ее частота. Частота переменной составляющей, содержащейся в выпрямленном переменном токе, зависит не только от частоты переменного тока, но и от схемы выпрямления. В частности, в схемах однополупериодного выпрямления частота переменной составляющей такая же, как и питающая выпрямитель переменного тока, т. е. 50 *гц*, а в схемах двухполупериодного выпрямления она вдвое

больше частоты питающего тока, т. е. 100 *гц*. В этом нетрудно убедиться, сравнив между собой графики пульсирующего тока при однополупериодном (фиг. 9) и двухполупериодном (фиг. 11) выпрямлении.

В первом случае в графике выпрямленного тока вся картина повторяется за целый период переменного тока, значит период выпрямленного тока (период его переменной составляющей) равен периоду питающего тока. Во втором случае вся картина повторяется за полпериода питающего тока и, значит, период переменной составляющей вдвое меньше (а частота вдвое больше), чем питающего тока. В этом заключается одно из преимуществ двухполупериодного выпрямителя перед однополупериодным: благодаря более высокой частоте переменной составляющей облегчается задача сглаживания выпрямленного тока. Двухполупериодное выпрямление обладает и некоторыми другими преимуществами перед однополупериодным (например, более высоким к. п. д.).

Напряжение, которое можно получить на зажимах кенотронного выпрямителя, зависит, во-первых, от напряжения, подводимого к анодам кенотрона, и, во-вторых, от его внутреннего сопротивления. Как и во всяком источнике тока, внутри кенотрона происходит падение напряжения. Так как внутреннее сопротивление кенотрона сравнительно велико, то падение напряжения внутри него может быть весьма значительным. Оно будет тем больше, чем больше внутреннее сопротивление кенотрона и чем больше сила тока, отдаваемого им, т. е. чем больше нагрузка. Для получения требуемого напряжения выпрямленного тока нужно правильно подобрать переменное напряжение, подводимое к кенотрону. Это напряжение выбирают, применяя трансформатор с тем или другим коэффициентом трансформации.

То обстоятельство, что кенотрон обладает большим внутренним сопротивлением, необходимо иметь в виду при включении его на ту или другую нагрузку. Большое внутреннее сопротивление кенотрона приводит к тому, что напряжение, даваемое кенотронным выпрямителем, существенно зависит от нагрузки. Если при данной нагрузке выпрямитель дает какое-то определенное напряжение, то при увеличении нагрузки его напряжение будет уменьшаться и, наоборот, при уменьшении нагрузки оно будет увеличиваться. В частности, при измерении с помощью вольтметра напряжения, даваемого кенотроном, также нужно учитывать, что выпрямитель обладает большим внутренним сопротивлением. Так как

вольтметр представляет собой определенную нагрузку, то включение его вызывает падение напряжения внутри кенотрона. Поэтому для измерения напряжения, даваемого выпрямителем, нужно пользоваться чувствительными вольтметрами, потребляющими малый ток. Малочувствительные вольтметры, потребляющие большой ток, для измерения напряжения, даваемого выпрямителем, непригодны. Это же обстоятельство — большое внутреннее сопротивление выпрямителя — имеет и другое важное практическое значение. Из сказанного только что следует, что наибольшее напряжение кенотронный выпрямитель дает без нагрузки, т. е. когда приемник не присоединен или его лампы не накалены. При этом напряжение, даваемое выпрямителем, может быть много больше того нормального напряжения, на которое рассчитаны выпрямитель и фильтр, в связи с чем возникает опасность пробоя конденсаторов фильтра. Кроме того, при включении выпрямителя без нагрузки в его фильтре в первый момент после включения возникают затухающие колебания, как и во всяком колебательном контуре. Накладываясь на выпрямленное напряжение, колебания увеличивают опасность пробоя конденсаторов фильтра. Поэтому выпрямитель никогда не следует включать в электросеть без нагрузки.

15. СЕЛЕНОВЫЕ И КУПРОКСНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Кроме кенотронных выпрямителей для питания приемников иногда применяют так называемые твердые или полупроводниковые выпрямители. Из выпрямителей этого типа наиболее распространены купроксные и селеновые.

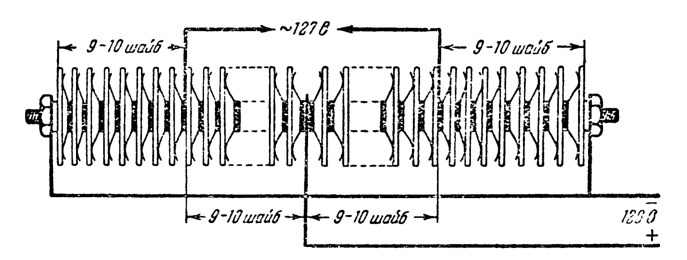
Выпрямляющее действие купроксного выпрямителя основано на односторонней проводимости контакта между слоем закиси меди и медной поверхностью. Причина односторонней проводимости — неодинаковая работа выхода электронов из чистого металла и из окиси. Вследствие различия в работе выхода сопротивление контакта между медью и закисью меди мало для тока, проходящего от закиси меди к меди, и велико для тока, проходящего в противоположном направлении.

Выпрямительный элемент представляет собой медную пластинку, покрытую тонким слоем закиси меди. Для осуществления контакта со слоем закиси меди обычно служит свинцовая пластинка, плотно прилегающая к этому слою. Действие селенового выпрямителя основано на односторонней проводимости контакта между слоем химического эле-

мента — селена и металла. Выпрямительный элемент представляет собой никелированный стальной или алюминиевый диск, покрытый тонким слоем селена.

Купроксные и селеновые выпрямители работают устойчиво и в течение очень длительного времени. По сроку службы они во много раз превосходят ламповые выпрямители. Так, например, через 10 000 час. работы купроксного выпрямителя он сохраняет все свои свойства и лишь несколько повышается его внутреннее сопротивление.

Такими же свойствами обладают и селеновые выпрямители. Преимуществом селеновых выпрямителей перед куп-



Фиг. 81. Устройство селенового выпрямительного столбика.

роксными является меньшее внутреннее сопротивление, в результате чего они имеют больший к. п. д. и допускают большую плотность тока при одинаковых размерах с купроксными выпрямителями.

Купроксные и селеновые выпрямители изготовляются в виде шайб круглой или прямоугольной формы, собираемых в столбики (фиг. 81). Количество шайб в столбике зависит от подводимого к нему напряжения.

Наибольшее напряжение, которое можно подать на одну шайбу, обусловлено электрической прочностью полупроводникового слоя (селена или закиси меди).

Для селеновых выпрямителей это напряжение равно 14—18 *в*, а для купроксных — 5—7 *в*. При подаче более высоких напряжений может пробиться полупроводниковый слой.

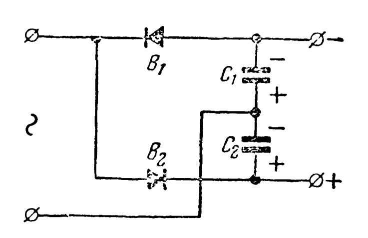
Таким образом, для работы от сети 127 *в* потребуется столбик, состоящий из 8—9 селеновых шайб или из 16—26 купроксных шайб, соединенных последовательно.

Сила выпрямленного тока ограничивается допустимой температурой нагрева столбика, выше которой полупроводниковый слой начинает портиться. Самая высокая температура, при которой твердые выпрямители могут нормально

работать, равна для купроксных выпрямителей 45--50° С, а для селеновых 75° С.

Максимальной допустимой температурой определяется максимальная допустимая плотность тока. Для купроксных выпрямителей она составляет около 30 *ма* на 1 *см*², а для селеновых — 25 *ма* при обычной схеме одно- и двухполупериодного выпрямления и 50 *ма* — при мостиковой схеме выпрямителя.

При хорошем охлаждении выпрямителей допустима несколько бо́льшая указанной выше плотность тока. Селеновые и купроксные выпрямители очень прочны, они не боятся тряски, не нуждаются в каком-либо уходе и не требуют электроэнергии для накала, как кенотронные выпрямители. Их внутреннее сопротивление при одной и той же силе выпрямленного тока меньше внутреннего сопротивления кенотронных выпрямителей. Особенно удобны твердые выпрямители в схемах удвоения напряжения.



Фиг. 82. Двухполупериодная схема с удвоением напряжения.

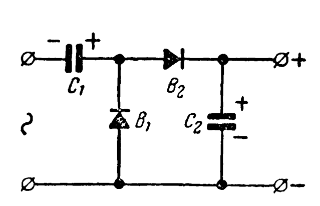
На фиг. 82 изображена двухполупериодная схема с удвоением напряжения.

В течение одной половины периода ток проходит по цепи, составленной из конденсатора C_1 и выпрямительного столбика B_1, при этом конденсатор C_1 приобретает заряд, полярность которого показана на схеме. В течение второй половины периода ток проходит через выпрямительный столбик B_2 и конденсатор C_2, и этот конденсатор приобретает заряд, полярность которого также указана на схеме. Напряжение, до которого заряжается каждый из конденсаторов, примерно равно напряжению сети.

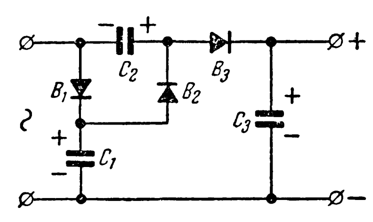
Таким образом, по истечении целого периода оба конденсатора будут иметь заряды, знаки которых указаны на фиг. 82. Так как по отношению к нагрузке конденсаторы соединены между собой последовательно, то и на пластинах, к которым присоединяется нагрузка, знаки зарядов противоположны, напряжения на конденсаторах сложатся и на нагрузке получится удвоенное напряжение.

На фиг. 83 изображена однополупериодная схема с удвоением напряжения. В этой схеме в течение одной половины периода ток течет через выпрямительный столбик B_1

и конденсатор C_1. По истечении этой половины периода конденсатор C_1 оказывается заряженным примерно до напряжения сети таким образом, что на его правой пластине оказывается положительный заряд, а на левой — отрицательный. Во время второй половины периода ток протекает через конденсатор C_1, выпрямительный столбик B_2 и конденсатор C_2. Напряжение сети складывается с напряжением на конденсаторе C_1. При этом по отношению к конденсатору C_2 заряженный конденсатор C_1 оказывается включен-



Фиг. 83. Однополупериодная схема с удвоением напряжения.



Фиг. 84. Схема с утроением напряжения.

ным последовательно с сетью и получается удвоение напряжения на конденсаторе C_2, а следовательно, и на нагрузке.

На фиг. 84 показана схема выпрямителя с утроением напряжения.

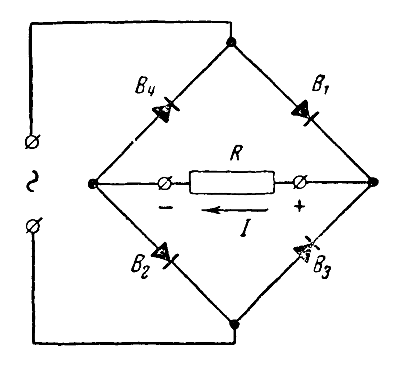
В этой схеме утроение напряжения происходит в течение трех полупериодов. В первый полупериод ток течет через выпрямитель B_1 и конденсатор C_1, заряжая его так, как показано на схеме.

Во второй полупериод ток течет через конденсатор C_1 выпрямитель B_2 и конденсатор C_2. Во время этого полупериода напряжение сети складывается с напряжением на конденсаторе C_1, поэтому конденсатор C_2 в конце второго полупериода заряжается до двойного напряжения сети.

В течение третьего полупериода (т. е. в течение первой половины второго периода) ток течет через конденсатор C_2, выпрямитель B_3 и конденсатор C_3. При этом напряжение сети складывается с удвоенным напряжением на конденсаторе C_2, в результате чего на конденсаторе C_3, а следовательно, и на нагрузке оказывается утроенное напряжение. В этот же полупериод происходит новый заряд конденсатора C_1 через выпрямитель B_1. В дальнейшем все явления повторяются в том же порядке. Такая схема может давать 400—500 *в* выпрямленного напряжения от сети 127 *в*.

Твердые выпрямители используются также в так называемых мостиковых схемах выпрямления. На фиг. 85 изображена простейшая мостиковая схема.

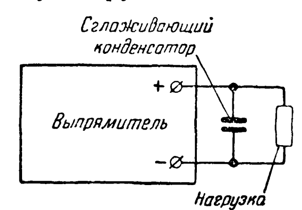
Эта схема работает по принципу двухполупериодного выпрямления. В течение первой половины периода ток течет через выпрямитель B_1, нагрузку R и выпрямитель B_2. В течение второй половины периода ток течет через выпрямитель B_3, нагрузку R и выпрямитель B_4. При этом через нагрузку R ток в течение обоих полупериодов проходит в одном и том же направлении (справа налево). В каждое плечо мостиковой схемы включается столбик, рассчитанный на полное напряжение электросети переменного тока.



Фиг. 85. Мостиковая схема.

16. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

При питании анодов ламп от селеновых или купроксных выпрямителей также необходимо применять сглаживающие фильтры для превращения пульсирующего тока в постоянный. Условия работы этих фильтров и требования, предъявляемые к ним, такие же, как и для фильтров кенотронных выпрямителей. Поэтому все сказанное ниже относительно сглаживающих фильтров касается как кенотронных, так и твердых выпрямителей для питания анодов ламп.



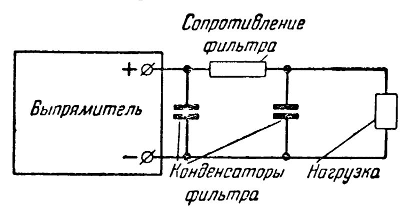
Фиг 86. Простейший фильтр состоит только из одного конденсатора.

В качестве простейшего фильтра может служить конденсатор большой емкости, присоединенный параллельно нагрузке (фиг 86). Однако такой способ сглаживания может дать хорошие результаты только в том случае, если емкость сглаживающего конденсатора очень велика (порядка нескольких десятков микрофарад).

Сглаживание пульсаций выпрямленного тока можно улучшить, если применить вместо одного два конденсатора

и включить между ними активное сопротивление (фиг. 87) или дроссель (фиг. 88).

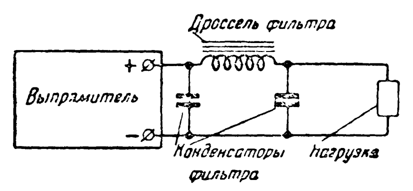
Роль дросселя в сглаживающем фильтре была выяснена ранее: сопротивление цепи, в которую включены дроссель и нагрузка, для переменной составляющей оказывается гораздо бо́льшим, чем сопротивление параллельной цепи, состоящей из конденсатора большой емкости. Ту же роль играет и активное сопротивление.



Фиг. 87. Фильтр с сопротивлением.

Сглаживание, которое дает фильтр с сопротивлением (фиг. 87), тем больше, чем больше произведение величины сопротивления и емкости конденсаторов фильтра.

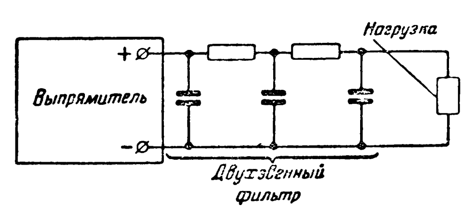
Если даваемое фильтром сглаживание оказывается недостаточным (слышен сильный фон переменного тока), необходимо увеличить либо емкости конденсаторов, либо величину сопротивления фильтра.



Фиг. 88. Фильтр с дросселем.

Можно также добавить еще одно звено фильтра (фиг. 89).

Однако применение активных сопротивлений в сглаживающем фильтре обладает тем недостатком, что под нагрузкой на сопротивлениях происходит значительное падение напряжения постоянной составляющей выпрямленного тока. Следовательно, понижается постоянное напряжение и на выходе фильтра, т. е. на нагрузке.



Фиг. 89. Двухзвенный фильтр.

Этот недостаток отсутствует у дроссельных фильтров (фиг. 88). Дроссель благодаря его большому индуктивному сопротивлению, почти полностью преграждает путь переменной составляющей выпрямленного тока и в то же время представляет собой сравнительно небольшое сопротивление для постоянной составляющей этого тока. Индуктивность дрос-

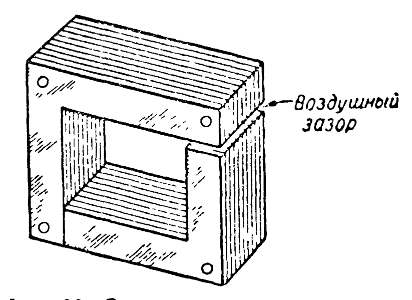
сели сглаживающего фильтра выпрямителя, применяемого в обычном приемнике, должна быть порядка 20—30 *гн*. Для переменной составляющей, имеющей частоту питающего тока (однополупериодное выпрямление), $f=50$ *гц*, сопротивление дросселя с индуктивностью $L=20$ *гн* равно:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 20 = 6\,280\ \textit{ом}.$$

В то же время активное сопротивление дросселя составляет не более нескольких сот *ом* и падение постоянного напряжения на дросселе обычно не превышает 30—40 *в*.

Конструкция дросселей для сглаживающих фильтров напоминает конструкцию силовых трансформаторов. Разница между ними заключается лишь в том, что трансформатор имеет несколько обмоток, а дроссель—только одну.

Сердечник дросселя должен обязательно иметь воздушный зазор (фиг. 90), который очень сильно увеличивает «магнитное сопротивление» сердечника. Последнее же ограничивает величину магнитного потока, благодаря чему устраняется возможность магнитного насыщения сердечника постоянным током, протекающим по обмотке дросселя (магнитное насыщение сердечника является вредным, так как оно уменьшает индуктивность дросселя).

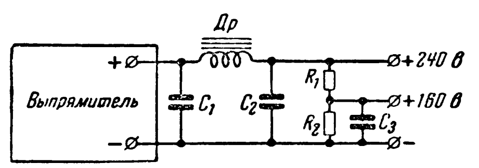


Фиг. 90. Сердечник дросселя должен иметь воздушный зазор.

Очень часто вместо дросселя в сглаживающий фильтр включается обмотка возбуждения динамического громкоговорителя. При этом, однако, переменная составляющая выпрямленного тока протекает через обмотку возбуждения, что вызывает появление фона переменного тока. Для компенсации этого фона в цепь звуковой катушки громкоговорителя следует включать компенсационную обмотку из 30—40 витков толстого провода, наматываемую на обмотку возбуждения.

Для повышения индуктивного сопротивления дросселя можно воспользоваться явлением резонанса. Как известно, емкость и индуктивность, включенные параллельно, образуют колебательный контур, сопротивление которого велико для той частоты, на которую контур настроен (случай так называемого параллельного резонанса). Поэтому, если па-

раллельно дросселю включить конденсатор такой емкости, который совместно с дросселем образует колебательный контур, настроенный на основную частоту переменной составляющей, то сопротивление этого контура для переменной составляющей будет больше, чем индуктивное сопротивление самого дросселя, и качество фильтрации улучшится. Емкость конденсатора, присоединяемого параллельно дросселю, подбирается опытным путем.



Фиг. 91. Делитель позволяет получить от выпрямителя различные напряжения.

Для двухполупериодного выпрямителя при обычно применяемых дросселях она должна быть порядка 0,1—0,05 *мкф*. Основные конденсаторы сглаживающих фильтров, включаемые параллельно выходу выпрямителя и нагрузке, должны иметь большие емкости (порядка 10 *мкф* и больше). Этому условию при сравнительно небольших размерах хорошо удовлетворяют электролитические конденсаторы.

Электролитические конденсаторы обладают определенной «полярностью», т. е. представляют собой большую емкость только при том условии, если одна определенная обкладка, соединенная с центральным выводом, заряжена положительно (а другая—отрицательно), а не наоборот. Поэтому электролитические конденсаторы следует включать в фильтр таким образом, чтобы плюс цепи соединялся с центральным выводом, а минус — с корпусом конденсатора.

Для различных цепей приемника требуются различные постоянные напряжения. Так, например, для питания анода лампы выходной ступени требуется большее напряжение, чем для питания анода лампы, в которой происходит детектирование. Для получения от выпрямителя различных напряжений применяются делители напряжения (фиг. 91).

Сопротивления R_1 и R_2 делителя напряжения не должны быть очень большими, в противном случае напряжение, снимаемое с делителя, будет очень сильно зависеть от нагрузки. Однако эти сопротивления не должны быть и очень малыми, чтобы не перегружать выпрямитель. Чтобы удовлетворить этим обоим требованиям, делитель должен иметь сопротивление порядка нескольких тысяч ом.

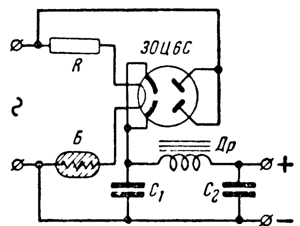
Конденсатор C_3 совместно с сопротивлением R_1 выполняет роль добавочного звена сглаживающего фильтра.

17. БЕСТРАНСФОРМАТОРНОЕ ПИТАНИЕ ПРИЕМНИКОВ

Силовой трансформатор — самая сложная и дорогая деталь выпрямителя. В некоторых случаях можно осуществить схемы выпрямителей без силового трансформатора. К числу таких схем относятся, например, рассмотренные выше купроксные и селеновые выпрямители. Существуют также бестрансформаторные схемы и кенотронных выпрямителей.

В бестрансформаторных выпрямителях применяются обычно кенотроны с повышенным напряжением накала, например кенотрон 30Ц6С, напряжение накала которого равно 30 *в*.

Нить накала кенотрона включается непосредственно в сеть переменного тока, и излишек напряжения частью гасится проволочным сопротивлением *R*, включенным последовательно с нитью накала (фиг. 92).



Фиг. 92. При непосредственном питании накала от сети в цепь накала включается гасящее сопротивление *R* и бареттер *Б*.

Кроме того, последовательно с нитью накала включается специальная лампа — бареттер *Б*, назначение которой состоит в том, чтобы поддерживать постоянной силу тока накала кенотрона при изменениях напряжения сети. На бареттере гасится остальная часть избыточного напряжения сети Для кенотрона 30Ц6С применяется бареттер типа 0,3Б-17-35.

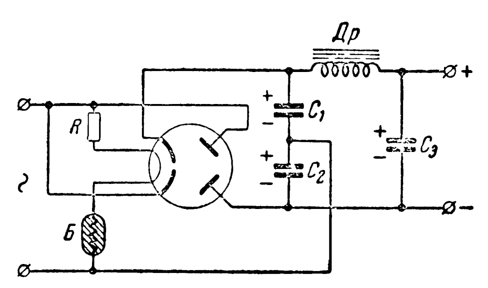
Бареттер обычно представляет собой тонкую стальную проволоку, помещенную в стеклянный баллон, наполненный водородом. Сопротивление этой проволоки в некоторых пределах так резко зависит от силы протекающего по ней тока, что падение напряжения на бареттере изменяется в очень широких пределах при очень малых изменениях силы протекающего через него тока. Поэтому бареттер «принимает на себя» колебания напряжения в сети, и ток в цепи остается почти неизменным.

Например, бареттер 0,3Б-17-35 поддерживает ток в цепи равным 0,3 *а* при колебаниях напряжения на нем от 17 до 35 *в*.

Последовательно с нитью накала кенотрона можно включить также нити накала ламп приемника, в том случае, если ток накала этих ламп равен току накала кенотрона (в данном случае 0,3 *а*). Разумеется, нити накала ламп приемни-

ка в этом случае должны быть соединены между собой последовательно, а не параллельно, как обычно. Сопротивление должно быть рассчитано на гашение избыточного напряжения сети, т. е. на разность между напряжением сети и суммой напряжений накала всех ламп приемника, кенотрона и бареттера. Среднее напряжение на бареттере 0,3Б-17-35 (для расчета величины гасящего сопротивления) следует считать равным 25 *в*.

В остальном схема, изображенная на фиг. 92, ничем не отличается от обычной схемы однополупериодного выпрямителя.



Фиг. 93. Схема бестрансформаторного выпрямителя, повышающая напряжение.

Описанная схема выпрямителя не позволяет получить выпрямленное напряжение, превышающее напряжение сети. Это является существенным недостатком данной схемы.

На фиг. 93 изображена другая схема бестрансформаторного выпрямителя, позволяющая удвоить выпрямленное напряжение по сравнению с напряжением сети. Принцип действия этой схемы такой же, как и у схемы селенового выпрямителя с удвоением напряжения, приведенной на фиг. 82. Схема, изображенная на фиг. 93, как легко видеть, может быть осуществлена с помощью одного сдвоенного кенотрона только в том случае, если этот кенотрон имеет два отдельных катода.

Общей особенностью всех схем, бестрансформаторного питания является наличие непосредственной («гальванической») связи между питающей сетью и выходом выпрямителя. Это обстоятельство часто вызывает трудности в применении схем бестрансформаторного питания. Так, например, при таких схемах питания нельзя заземлять «нулевой точки» приемника, так как к ней присоединяется минус анодного напряжения, непосредственно соединенный с питающей сетью, которую обычно нельзя замыкать на землю.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ
18. УСИЛИТЕЛИ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ

В главе второй были рассмотрены общие принципы работы трехэлектродной усилительной лампы. Однако осуществляется этот общий принцип по-разному в зависимости от характера усиливаемых колебаний, требований, предъявляемых к усилителю или всему приемнику в целом, и т д. Так как к тому же обычно в приемнике усиление осуществляется не одной лампой, а несколькими ступенями (каскадами), то усилители, с которыми приходится встречаться радиолюбителю, оказываются весьма разнообразными. Но всякий усилитель состоит из комбинации нескольких ступеней усиления немногих различных типов.

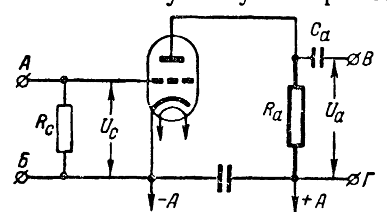
Зная устройство и принцип действия этих отдельных типов усилителей и способы их соединения между собой, нетрудно разобраться в схеме и работе скомбинированного из них усилителя. Поэтому мы опишем устройство и работу только отдельных ступеней этих основных типов усилителей.

Мы рассмотрим сначала усилители с трехэлектродными лампами, хотя сейчас для целей усиления применяются преимущественно, а в некоторых случаях (например, для усиления высокой частоты) почти исключительно, многоэлектродные лампы. Но самый принцип работы того или иного усилителя наиболее просто может быть выяснен при рассмотрении схемы с трехэлектродной лампой. Вместе с тем при этом рассмотрении выяснятся и те недостатки трехэлектродной лампы, которые в каждом отдельном случае препятствуют получению наибольшего эффекта.

К схемам с многоэлектродными лампами мы будем переходить лишь после рассмотрения соответствующих схем с трехэлектродными лампами.

Наиболее простым как по схеме, так и с точки зрения процессов, в нем происходящих, является усилитель, в котором анодной нагрузкой служит активное сопротивление. Это — так называемый усилитель на сопротивлениях. Поэтому для выяснения принципа работы электронной лампы как усилителя мы рассматривали (§ 8) схему усилителя на сопротивлениях. По этим же соображениям рассмотрение различных усилителей мы также начнем с этого типа. Схема одной ступени усиления на сопротивлениях приведена на фиг. 94. Напомним принцип действия этой схемы. К точкам *А* и *Б* усилителя подводятся переменные напряжения, кото-

рые подлежат усилению. Обычно между точками *А* и *Б* бывает включено сеточное сопротивление R_c. Под действием подводимых напряжений в этом сопротивлении возникает переменный ток, который создает переменное падение напряжения на концах R_c. Это напряжение U_c действует на сетку усилительной лампы и, следовательно, изменяет силу анодного тока в лампе. В анодную цепь лампы также включено сопротивление—анодное сопротивление R_a. Пока на сетке отсутствует переменное напряжение, анодный ток имеет некоторую постоянную величину и создает на сопротивлении R_a некоторое постоянное падение напряжения. Но если под действием переменного напряжения U_c анодный ток изменяет свою величину, то вместе с тем будет изменяться и падение напряжения на сопротивлении R_a. Кроме некоторого постоянного падения напряжения мы получим на сопротивлении R_a переменное напряжение U_a, изменяющееся по тому же закону, как и подводимое к сетке напряжение U_c.



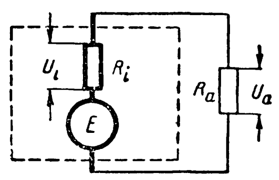
Фиг. 94. Схема усилительной ступени на сопротивлениях.

Чтобы отделить это переменное напряжение от постоянного, выходные зажимы *ВГ* усилителя присоединяются к анодному сопротивлению R_a через разделительный конденсатор C_a. Переменное напряжение U_a, снимаемое с анодного сопротивления R_a, может быть больше, чем напряжение, подводимое к сетке лампы. Тогда лампа будет усиливать подводимые к ней переменные напряжения. Отношение напряжения U_a к напряжению U_c, показывающее, во сколько раз усиливаются подводимые напряжения, и называется коэффициентом усиления ступени.

Отчего зависит величина коэффициента усиления ступени, мы уже выяснили при рассмотрении принципа действия лампы как усилителя (§ 8).

Для более детального анализа работы усилителя заменим, как это часто делается, схему рассматриваемого усилителя так называемой эквивалентной схемой. В эквивалентных схемах лампа, к сетке которой подводится переменное напряжение, заменяется некоторым условным источником

э. д. с. E. Частота этой э. д. с. совпадает с частотой подводимого к сетке напряжения. Что же касается амплитуды этой э. д. с., то, как будет показано ниже, она должна быть взята равной μU_c, где μ — коэффициент усиления лампы, а U_c — амплитуда подводимого к сетке лампы напряжения. Наконец, внутреннее сопротивление этого источника э. д. с. нужно считать равным внутреннему сопротивлению R_i электронной лампы. В эквивалентной схеме это сопротивление R_i включено последовательно с источником э. д. с. (фиг. 95).



Фиг. 95. Эквивалентная схема ступени усиления на сопротивлениях.

При рассмотрении этой эквивалентной схемы можно пользоваться известными из электротехники общими законами распределения напряжений в цепи. Если в какой-либо цепи проходит ток, то падение напряжения будет происходить как внутри самого источника тока, так и во внешней цепи. Вследствие этого э. д. с. E, даваемая источником, будет частью расходоваться на внутреннем сопротивлении R_i, а частью — на внешнем сопротивлении R_a. Общее же падение напряжения во всей цепи будет как раз равно э. д. с., даваемой источником. Если падение напряжения на внутреннем сопротивлении равно U_i, а на внешнем U_a, то очевидно, что $E = U_i + U_a$. Но, как мы знаем, падение напряжения на каком-либо участке цепи равно произведению сопротивления этого участка цепи на силу тока в нем; с другой стороны, по закону Ома ток в цепи будет равен:

$$I_a = \frac{E}{R_i + R_a}$$

и, значит,

$$U_i = R_i I_a = \frac{ER_i}{R_i + R_a},$$

а

$$U_a = R_a I_a = \frac{ER_a}{R_i + R_a}.$$

Следовательно, падения напряжения между сопротивлениями R_a и R_i распределяются пропорционально их величинам.

В частности, если внешнее сопротивление R_a очень велико по сравнению с внутренним сопротивлением источника R_i,

то практически можно считать, что все падение напряжения в цепи приходится только на внешнее сопротивление, т. е. на внешнем сопротивлении выделяется переменное напряжение, полностью равное э. д. с. E источника.

Приложим теперь эти соображения к эквивалентной схеме однолампового усилителя на сопротивлениях и покажем, что э. д. с. условного источника, которым заменена лампа, должна иметь амплитуду $E = \mu U_c$.

Как только что было показано, когда R_a очень велико по сравнению с R_i, можно считать, что вся э. д. с. E источника полностью выделяется на внешнем сопротивлении R_a.

Но, с другой стороны, как мы знаем из § 8, в этом случае лампа дает усиление, равное μ, и, значит, на сопротивлении R_a выделяется напряжение μU_c, где U_c — напряжение, подводимое к сетке. Отсюда видно, что $E = \mu U_c$, т. е. что действительно при замене лампы условным источником э. д. с. амплитуду этой э. д. с. нужно считать равной μU_c.

Теперь, зная, какова амплитуда условного источника э. д. с., мы можем из рассмотрения эквивалентной схемы определить, каков будет коэффициент усиления ступени при любом соотношении между R_a и R_i (а не только для крайних случаев, рассмотренных в § 8, когда R_a очень велико или очень мало по сравнению с R_i).

Так как сила тока в цепи эквивалентной схемы равна:

$$I_a = \frac{E}{R_i + R_a} = \frac{\mu U_c}{R_i + R_a},$$

то на сопротивлении R_a получается падение напряжения

$$U_a = R_a I_a = \frac{R_a \mu U_c}{R_i + R_a}.$$

Но U_c есть напряжение, подводимое к сетке лампы, а U_a — напряжение, снимаемое с анодной нагрузки. Следовательно, усиление K, даваемое ступенью, равно:

$$K = \frac{U_a}{U_c}$$

и, подставляя выражение для U_a, получим:

$$K = \frac{\mu R_a}{R_i + R_a}.$$

Таков коэффициент усиления ступени усилителя на сопротивлениях. Из полученного выражения для K видно, что при увеличении анодного сопротивления R_a коэффициент усиления, даваемый ступенью, сначала растет быстро (так как в выражении для K быстрее растет числитель, чем знаменатель), а дальше, когда анодное сопротивление R_a уже значительно больше внутреннего сопротивления R_i, коэффициент усиления возрастает все медленнее и медленнее (так как числитель и знаменатель растут почти одинаково быстро) и стремится к пределу, который равен коэффициенту усиления самой лампы (так как при R_a гораздо большем, чем R_i, в выражении для K можно отбросить R_i и тогда $K=\mu$).

При анодном сопротивлении, например, в 5 раз превышающем внутреннее сопротивление лампы, практически уже можно считать коэффициент усиления ступени равным коэффициенту усиления лампы, и, следовательно, дальнейшее увеличение анодного сопротивления уже нецелесообразно. Так как трехэлектродные лампы имеют внутреннее сопротивление порядка нескольких десятков тысяч ом, то при анодных сопротивлениях порядка сотни тысяч ом от лампы можно получить все то усиление, которое она может дать в схеме усиления на сопротивлениях и которое примерно равно коэффициенту усиления лампы. Поэтому в усилителях на сопротивлениях в большинстве случаев применяются анодные сопротивления порядка 100 тыс. *ом*. При этом выгодно применять лампы с большим коэффициентом усиления, так как тогда можно получить и больший коэффициент усиления ступени.

Если же применять малые анодные сопротивления, много меньшие, чем внутреннее сопротивление лампы, то усиление ступени

$$K=SR_a.$$

Это выражение мы уже получили в § 8, но его нетрудно вывести из общего выражения для K, полученного только что. В самом деле, если R_a мало по сравнению с R_i, то R_a можно отбросить в знаменателе выражения для K, т. е. считать, что

$$K=\frac{\mu R_a}{R_i}.$$

Но из соотношения между основными параметрами лампы, полученными в § 7, следует, что $\frac{\mu}{R_i} = S$

и, значит,

$$K = S \cdot R_a.$$

Итак, в случае, когда R_a мало по сравнению с R_i, коэффициент усиления каскада определяется уже не коэффициентом усиления лампы μ, а крутизной ее характеристики S.

Поэтому, если по каким-либо причинам оказывается невозможным применить большие анодные сопротивления и приходится пользоваться анодной нагрузкой, сопротивление которой мало по сравнению с внутренним сопротивлением лампы, то выгодно применять лампы не с большим коэффициентом усиления, а с большой крутизной характеристики.

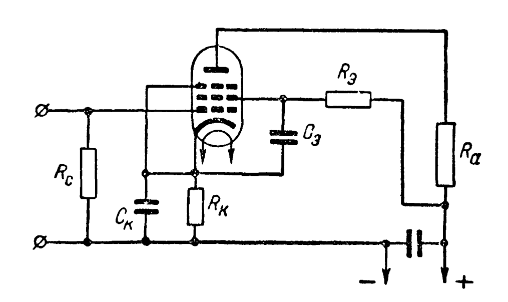
Наши выводы, касающиеся двух крайних случаев, — первого, когда R_a гораздо больше, чем R_i, и второго, — когда R_a гораздо меньше R_i, хотя и получены нами из рассмотрения усилителей на сопротивлениях, но носят более общий характер. Независимо от типа анодной нагрузки всегда, когда сопротивление этой нагрузки гораздо больше внутреннего сопротивления лампы, усиление, даваемое лампой, определяется главным образом коэффициентом усиления лампы. Когда же сопротивление анодной нагрузки много меньше внутреннего сопротивления лампы, существенную роль играет крутизна характеристики — ею главным образом определяется получаемое усиление. В промежуточных случаях, когда сопротивление анодной нагрузки и внутреннее сопротивление лампы — величины одного порядка (а эти случаи очень часто встречаются на практике), усиление ступени зависит как от коэффициента усиления лампы, так и от крутизны ее характеристики.

Итак, для получения большого усиления нужно применять в качестве анодной нагрузки сопротивление R_a, во много раз превышающее внутреннее сопротивление лампы R_i. Однако практически это не всегда возможно. Дело в том, что при больших значениях R_a на этом сопротивлении падает бóльшая часть постоянного напряжения, питающего анод лампы, ибо это сопротивление включено последовательно с источником питания (фиг. 94). Если сопротивление R_a во много раз больше R_i, то и падение постоянного напряжения на R_a будет во много раз больше, чем на самой лампе.

Иначе говоря, напряжение на аноде лампы будет во много раз меньше, чем напряжение источника анодного питания. При этом для создания на аноде нормального напряжения пришлось бы увеличить в соответствующее число раз напряжение источника питания, а это обычно затруднительно. Поэтому часто приходится применять сопротивления R_a того же порядка, что и R_i, а иногда даже и меньшие.

В частности, в усилителях на многоэлектродных лампах (экранированных или пентодах) сопротивление R_a обычно меньше внутреннего сопротивления лампы, так как последнее очень велико (порядка сотен тысяч ом).

Схема усилителя на сопротивлениях с применением пентода (и с автоматическим смещением, получаемым за счет анодного тока от сопротивления $R_к$) изображена на фиг. 96.



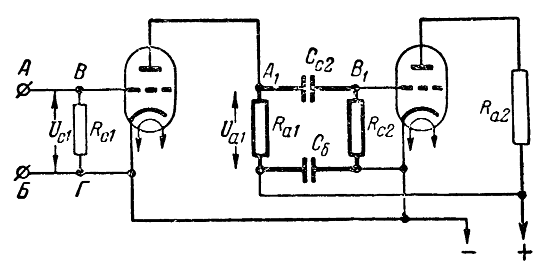
Фиг. 96. Усилитель на сопротивлениях с применением пентода.

Конденсатор $C_к$ открывает путь для переменной составляющей анодного тока мимо сопротивления смещения $R_к$.

Защитная сетка пентода присоединена, как обычно, к катоду, а экранная сетка — через сопротивление $R_э$ к плюсу источника анодного напряжения. Чтобы создать путь для переменной составляющей (для токов звуковых частот), т. е. чтобы на экранной сетке не возникало переменного напряжения, она соединена с катодом через конденсатор $C_э$ емкостью около 0,05 *мкф*. Остальные элементы схемы такие же, как и в усилителе с трехэлектродной лампой, и работает она в принципе так же. Однако сопротивление R_a в этой схеме в отличие от схем с трехэлектродными лампами, как уже указывалось, обычно не может быть выбрано большим по сравнению с внутренним сопротивлением лампы.

Для того чтобы выяснить вопрос о способах связи отдельных ступеней усиления между собой, мы рассмотрим схему двух ступеней усиления на сопротивлениях, приведенную на фиг. 97. Подлежащее усилению переменное напряжение подводится к точкам *А* и *Б* и по сопротивле-

нию R_{c1} протекает переменный ток, создающий на зажимах этого сопротивления переменное падение напряжения U_{c1}. Это напряжение усиливается первой лампой, и на зажимах анодного сопротивления R_{a1} получается усиленное переменное напряжение U_{a1}. Это усиленное переменное напряжение можно снова усилить при помощи второй лампы (второй ступени усиления). Для этого его нужно подвести к сетке второй лампы так же, как напряжение U_{c1} было подведено к сетке первой лампы. При этом, однако, нужно учитывать, что кроме переменного напряжения в анодной

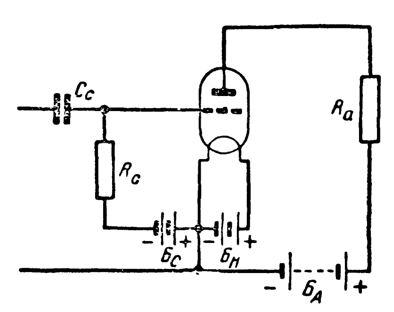


Фиг. 97. Двухступенный усилитель на сопротивлениях.

цепи первой лампы существует также постоянное и обычно довольно значительное падение напряжения, создаваемое постоянным анодным током (постоянной слагающей анодного тока). Если это постоянное напряжение попадет на сетку второй лапмы, то оно изменит режим работы этой лампы, сместит рабочую точку по характеристике и нарушит нормальные условия работы лампы. Поэтому подавать постоянное напряжение из анодной цепи первой лампы на сетку второй нельзя. Необходимо отделить постоянное напряжение от переменного и только это последнее подать на сетку второй лампы. Чтобы преградить путь постоянному напряжению, как уже указывалось, служит разделительный или, как его в этих случаях обычно называют, переходной конденсатор C_{c2}, который пропускает на сетку второй лампы только переменное напряжение, получающееся на сопротивлении R_{a1}, т. е. как раз то усиленное переменное напряжение, которое дает первая ступень усилителя.

Но применение разделительного конденсатора вызывает необходимость включения в схему еще одного элемента — сопротивления R_{c2}. Роль этого нового элемента схемы такова. Если в цепь сетки включен конденсатор, то электроны, летящие с катода и попадающие на провода сетки,

не имеют выхода с сетки, так как конденсатор не пропускает электронов, движущихся все время в одном направлении — вне лампы от сетки к катоду (ибо движение электронов в одном направлении представляет собой постоянный ток). Все попавшие на сетку электроны будут скопляться на конденсаторе, постепенно увеличивая его отрицательный заряд. В конце концов, отрицательное напряжение на сетке возрастет настолько, что анодный ток вовсе прекратится и лампа перестанет работать — она окажется «запертой». Чтобы этого не случилось, нужно открыть электронам путь, по которому они могли бы с сетки снова возвращаться к катоду. Этот путь и образует сопротивление R_{c2}, через него электроны возвращаются снова к катоду. Сопротивление R_{c2}, которое открывает путь для утечки электронов, попадающих на сетку, называют утечкой сетки. В тех случаях, когда на сетку нужно подать отрицательное смещение, оно подается через утечку (например, так, как указано на фиг. 98), так как через конденсатор C_c подать постоянное напряжение смещения было бы невозможно.

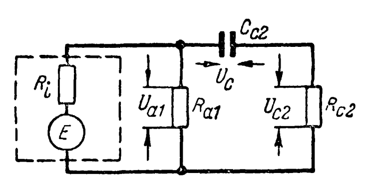


Фиг. 98. Смещение подается через сопротивление утечки.

Остается теперь выяснить, какое усиление могут дать две ступени усиления и как величина этого усиления зависит от величин сопротивлений и емкостей, входящих в схему. Что касается анодных сопротивлений R_{a1} и R_{a2}, то о них можно повторить все то, что было сказано относительно анодного сопротивления в одноламповом усилителе, так как условия работы лампы и роль анодного сопротивления в этих двух случаях совершенно одинаковы.

Чтобы получить возможно больший коэффициент усиления в каждой из ступеней, нужно, чтобы анодные сопротивления были велики по сравнению с внутренним сопротивлением ламп. Посмотрим теперь, как влияют на работу схемы величины емкости переходного конденсатора C_{c2} и утечки сетки второй лампы R_{c2}. Чтобы выяснить этот вопрос, мы снова воспользуемся эквивалентной схемой, но несколько иного вида (фиг. 99). Лампу мы попрежнему заменим некоторым условным источником э. д. с. E, обла-

дающим внутренним сопротивлением R_i. Но теперь уже этот источник будет включен на две цепи, соединенные параллельно. Первая из этих двух цепей — это анодное сопротивление R_{a1}, а вторая — это конденсатор C_{c2} и сопротивление R_{c2}, включенные последовательно. Теперь мы легко выясним, какое влияние на работу схемы будут оказывать R_{c2} и C_{c2} в нашей схеме. Падение напряжения ведь будет одинаково в обеих параллельных ветвях цепи. Значит, то напряжение U_{a1}, которое получается на сопротивлении R_{a1}, во второй цепи разделится на две части: U_c — падение напряжения на конденсаторе C_{c2} и U_{c2} — падение напряжения на R_{c2} (это — именно то напряжение, которое попадает на сетку второй лампы). Чем меньше будет U_c, тем больше будет U_{c2}. Для того чтобы усилитель давал возможно большее усиление, напряжение U_{c2}, попадающее на сетку второй лампы, должно быть возможно бо́льшим. Поэтому нужно стремиться к тому, чтобы U_c было возможно меньшим по сравнению с U_{c2}. Для этого емкостное сопротивление конденсатора C_{c2} переменному току должно быть возможно меньшим. Так как емкостное сопротивление тем меньше, чем больше емкость, то, следовательно, емкость C_{c2} должна быть достаточно велика. Кроме этого условия необходимо соблюдать еще одно, а именно: общее сопротивление всей цепи, включенной между анодом и катодом первой лампы, должно быть попрежнему велико по сравнению с R_i (чтобы первая лампа давала большое усиление). Для того чтобы общее сопротивление между анодом и катодом первой лампы не уменьшилось заметно от включения параллельно R_{a1} цепи C_{c2}—R_{c2}, нужно, чтобы полное сопротивление этой последней было велико по сравнению с R_{a1}. Так как емкостное сопротивление конденсатора C_{c2} должно быть мало по сравнению с R_{c2}, то, значит, второе требование сводится к тому, чтобы R_{c2} было значительно больше, чем R_{a1}. Таким образом, условия для получения наибольшего усиления в разобранной нами схеме сводится к следующему: R_{a1}



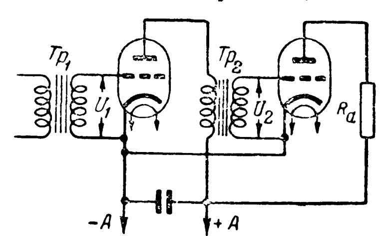
Фиг. 99. Эквивалентная схема ступени усиления при наличии переходного конденсатора и утечки сетки следующей лампы.

и R_{a2} должны быть велики по сравнению с внутренним сопротивлением лампы R_i; R_{c2} должно быть значительно больше R_{a1} и, наконец, емкость конденсатора C_{c2} должна быть достаточно велика, чтобы его емкостное сопротивление переменному току было гораздо меньше, чем R_{c2}.

Следовательно, чем ниже частота усиливаемого тока, тем больше должна быть емкость C_{c2}. Поэтому в усилителях низкой частоты эти конденсаторы должны иметь емкость не менее 0,02—0,03 *мкф*. В усилителях же высокой частоты достаточны переходные емкости порядка 0,001 *мкф* и меньше. При соблюдении указанных выше условий каждая ступень будет давать усиление, близкое к коэффициенту усиления лампы, а две ступени—усиление, приближающееся к произведению коэффициентов усиления обеих ламп.

19. УСИЛИТЕЛИ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

В усилителях на сопротивлениях, схемы которых мы рассматривали выше, роль анодного сопротивления сводилась к тому, чтобы выделить на этом сопротивлении усиленное переменное напряжение и затем передать это напряжение для дальнейшего усиления на сетку следующей лампы. Эту же роль может выполнить трансформатор.



Фиг. 100. Усилитель на трансформаторах. Напряжение к сеткам ламп подается от вторичных обмоток трансформаторов.

Представим себе, что вместо активного сопротивления в анод усилительной лампы включена первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ (фиг. 100). Если эту обмотку питать меняющимся по величине анодным током, то на концах вторичной обмотки трансформатора возникнет переменное напряжение, которое будет действовать на сетку второй лампы. Словом, трансформатор $Тр_2$ в схеме фиг. 100 будет выполнять ту же роль, которую выполняет анодное сопротивление в рассмотренных нами ранее схемах усилителей на сопротивлениях.

При этом, однако, в трансформаторе, который обладает малым активным сопротивлением, падение постоянного напряжения невелико, и поэтому для получения нужного напряжения на аноде лампы требуется меньшее напряже-

ние источника анодного питания, чем в случае усилителей на сопротивлениях. В этом заключается одно из преимуществ трансформаторных усилителей по сравнению с усилителями на сопротивлениях. Трансформатор, связывающий анод одной лампы с сеткой следующей, называют междуламповым трансформатором. Трансформаторы применяются не только для связи между лампами, но и для подведения напряжения к сетке первой лампы усилителя. Эти трансформаторы носят название входных. Таким, например, является трансформатор, обозначенный Tp_1 на фиг. 100.

Различие между работой схемы на сопротивлениях и на трансформаторах заключается в том, что в первом случае на сетку второй лампы подается переменное напряжение, во всяком случае не превышающее того, которое получается на анодном сопротивлении предыдущей лампы. В случае же усилителя на трансформаторах напряжение, создаваемое переменной составляющей анодного тока первой лампы на зажимах первичной обмотки трансформатора, может быть повышено в несколько раз с помощью повышающего трансформатора, т. е. трансформатора, у которого во вторичной обмотке число витков в несколько раз больше, чем в первичной. Тогда на сетку следующей лампы будет подано напряжение, в несколько раз большее, чем то, которое подводится к первичной обмотке.

Выясним, при каких условиях усиление, даваемое одной ступенью трансформаторного усилителя, будет близко к тому максимальному усилению, которое она может дать. Для этого, очевидно, должны быть выполнены следующие условия. На зажимах первичной обмотки трансформатора должно быть выделено то наибольшее напряжение, которое может дать лампа. Для этого, как мы уже знаем, сопротивление первичной обмотки переменному току должно быть достаточно велико. Если это сопротивление будет мало, то только незначительное напряжение выделится в первичной обмотке трансформатора.

Таким образом, одним из условий получения больших усилений является достаточно большое сопротивление первичной обмотки междулампового трансформатора усиливаемому переменному току.

Второе условие, которое необходимо соблюсти, заключается в том, чтобы получить на зажимах вторичной обмотки возможно более высокое напряжение. Для этого нужно поставить трансформатор в такие условия, при ко-

торых напряжение не терялось бы внутри самой вторичной обмотки. Это условие сводится к тому, чтобы во вторичной обмотке не проходил сколько-нибудь заметный ток, так как при наличии тока во вторичной обмотке неизбежно происходит падение напряжения внутри ее и, следовательно, уменьшение напряжения между сеткой и катодом лампы. Это второе условие соблюсти довольно трудно, так как при положительных напряжениях на сетке через вторичную обмотку будет проходить ток (электроны будут садиться на провода сетки). Устранить ток в цепи сетки можно, как мы знаем, при помощи отрицательного смещения, способы задания которого были рассмотрены выше. Но одновременно с отрицательным смещением приходится повышать и анодное напряжение (для того чтобы рабочая точка оставалась в середине прямолинейного участка характеристики ламп).

Помимо двух указанных существует еще ряд причин, понижающих усиление, даваемое трансформаторным усилителем. К числу этих причин прежде всего относятся паразитные емкости в различных частях схемы, главным образом паразитные емкости самих обмоток трансформатора.

Уже первичная обмотка трансформатора должна иметь значительное число витков, так как она должна обладать большим сопротивлением переменному току. При большом числе витков неизбежна большая паразитная емкость между витками.

Вторичная же обмотка должна иметь еще большее число витков (трансформатор повышающий), поэтому паразитная емкость вторичной обмотки будет еще больше. При большом числе витков вторичной обмотки вредное влияние ее паразитной емкости становится настолько значительным, что напряжение, подводимое к сетке второй лампы, может оказаться не бо́льшим, а меньшим напряжения, подведенного к первичной обмотке. Поэтому междуламповые трансформаторы редко делают с большими коэффициентами трансформации.

Обычно междуламповые трансформаторы делаются с коэффициентом трансформации 3—4.

Как указывалось выше, первичная обмотка междулампового трансформатора должна обладать достаточно большим индуктивным сопротивлением для токов низкой частоты; следовательно, она должна иметь достаточно большое число витков — порядка 2 000—3 000. Соответственно вторичная обмотка должна содержать 6 000—8 000 витков и

даже больше. С той же целью для увеличения индуктивности трансформаторы низкой частоты делаются с замкнутыми железными сердечниками.

Усилители на трансформаторах редко применяются для предварительного усиления, т. е. пока требуется усиление небольших напряжений и небольших мощностей, так как в этих случаях при применении многоэлектронных ламп более эффективными оказываются усилители на сопротивлениях.

20. ОКОНЕЧНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

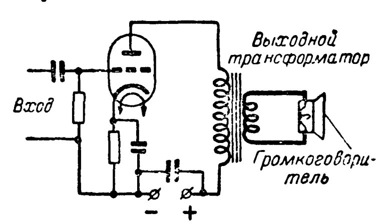
Ступени предварительного усиления всегда работают на следующую ступень усилителя, т. е. создаваемые ими напряжения подаются на сетку следующей лампы для управления ее анодным током. Как мы уже указывали, для управления анодным током лампы не требуется сколько-нибудь значительной мощности. Поэтому роль предварительных ступеней заключается в усилении напряжения, а не мощности. Для этого, как мы выяснили, нужно в качестве анодной нагрузки применять сопротивления, величина которых по крайней мере в несколько раз превосходит внутреннее сопротивление лампы.

Однако не всегда задача усилителя сводится к тому, чтобы получить на выходе максимальное напряжение. В том случае, когда лампа является оконечной, т. е. работает на громкоговоритель, задача усилителя оказывается иной. Оконечный усилитель должен выделить во внешней цепи (громкоговорителе) не наибольшие напряжения, а наибольшую мощность, т. е. должен служить усилителем мощности, так как громкость звука зависит в конечном счете от той мощности, которая подводится к громкоговорителю.

Для выделения в нагрузке наибольшей мощности соотношение между внутренним сопротивлением лампы и сопротивлением нагрузки должно быть не таким, как для выделения наибольшего напряжения. Поэтому величина анодной нагрузки в усилителях мощности должна быть не такой, как в усилителях напряжения.

Подробное рассмотрение этого вопроса показывает, что наибольшая мощность, которая может быть получена при отсутствии искажений, так называемая «неискаженная мощность», выделяется в анодной нагрузке при условии, что ее сопротивление переменному току есть величина такого же порядка, как внутреннее сопротивление лампы. Для этого громкоговоритель должен быть «высокоомным». В «низко-

омном» громкоговорителе, включенном непосредственно в анодную цепь лампы, будет выделяться очень незначительная мощность (вследствие несоответствия между сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением лампы), и он будет работать плохо. Такие низкоомные громкоговорители следует включать в анодную цепь оконечной лампы не непосредственно, а через понижающий выходной трансформатор (фиг. 101), т. е. трансформатор, имеющий большое число витков в первичной обмотке и малое — во вторичной.



Фиг. 101. Низкоомный громкоговоритель включают в анодную цепь оконечной лампы через понижающий выходной трансформатор.

Рассмотрим, какую роль играет этот понижающий выходной трансформатор. Отдаваемая трансформатором мощность, если пренебречь потерями, происходящими внутри него самого, должна быть равна мощности, которую он потребляет из сети. Далее, если сдвиг фаз между током и напряжением в обмотках трансформатора отсутствует, то потребляемая или отдаваемая мощность равна произведению напряжения на обмотке на силу тока в ней. Следовательно, если напряжения на обмотках равны соответственно U_1 и U_2, а силы тока в них I_1 и I_2, то при сделанных выше предположениях

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

откуда

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

В понижающем трансформаторе коэффициент трансформации n меньше единицы. Обозначим величину, обратную коэффициенту трансформации, через n_1, т. е. положим, что

$$n_1 = \frac{1}{n}$$

(тогда n_1 — отношение числа витков в первичной обмотке к числу витков во вторичной, величина больше единицы). Напряжение на вторичной обмотке такого трансформатора в n_1 раз меньше, чем на первичной, т. е.

$$U_1 = n_1 U_2.$$

Так как отношение между токами в обмотках, как только что было показано, обратно отношению между напряжениями на обмотках, то

$$I_1 = \frac{I_2}{n_1}.$$

Разделив первое равенство на второе, получим:

$$\frac{U_1}{I_1} = n_1^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}.$$

Но отношение напряжения в сети к силе тока в ней — это сопротивление цепи. Следовательно, выражение

$$\frac{U_1}{I_1} = R_a$$

и представляет собой «входное сопротивление» трансформатора, т. е. сопротивление, которое он представляет собой как нагрузка для лампы, а

$$\frac{U_2}{I_2} = R_г$$

— сопротивление, подключенное к вторичной обмотке трансформатора, т. е. сопротивление громкоговорителя.

Отсюда следует, что

$$R_a = n_1^2 R_г,$$

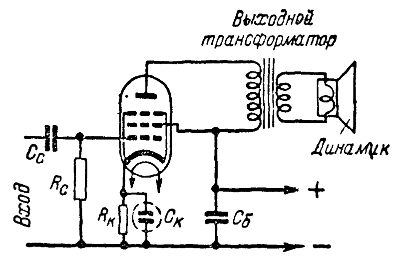
т. е. сопротивление анодной нагрузки благодаря применению выходного трансформатора в n_1^2 раз больше, чем если бы громкоговоритель был включен в анодную цепь лампы непосредственно, без выходного трансформатора.

Таким образом, понижающий выходной трансформатор позволяет при малом сопротивлении громкоговорителя все же получить большое сопротивление анодной нагрузки, близкое к внутреннему сопротивлению выходной лампы.

При выборе коэффициента трансформации выходного трансформатора обычно поступают следующим образом. Выбирают такую оконечную лампу, чтобы она могла отдавать мощность, необходимую для нормальной работы имеющегося громкоговорителя.

Затем, зная сопротивление громкоговорителя и внутреннее сопротивление лампы, выбирают выходной трансформатор с таким коэффициентом трансформации, чтобы его входное сопротивление при условии, что вторичная обмотка

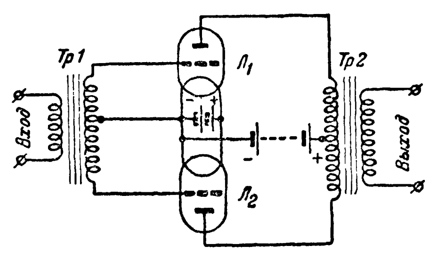
нагружена на громкоговоритель, было близко к внутреннему сопротивлению оконечной лампы. Необходимое для громкоговорителя напряжение будет обеспечено при этом автоматически, так как при выборе трансформатора учитывались мощность и сопротивление громкоговорителя, а эти две величины однозначно определяют собой требуемое для громкоговорителя напряжение.



Фиг. 102. Оконечная ступень усиления на пентоде.

В оконечных усилителях обычно применяют низкочастотные пентоды. Схема выходного каскада приемника на пентоде изображена на фиг. 102.

Напряжение звуковой частоты поступает на сетку пентода от предварительной ступени усиления низкой частоты, через переходный конденсатор C_c. Сопротивление утечки R_c служит для подачи через него на сетку отрицательного смещения от сопротивления $R_к$ и для стекания на катод электронов, оседающих на управляющей сетке лампы. Электролитический конденсатор $C_к$ шунтирует сопротивление смещения $R_к$ для переменной составляющей анодного тока (для токов звуковых частот). Конденсатор $C_б$ представляет собой путь, по которому проходят переменные составляющие анодного тока и тока экранной сетки, минуя источник анодного напряжения.



Фиг. 103. Двухтактная схема усиления низкой частоты.

В оконечной ступени усиления низкой частоты нередко применяются так называемые двухтактные схемы, одна из которых приведена на фиг. 103. Ступень усиления по двухтактной схеме состоит из двух ламп ($Л_1$ и $Л_2$), включенных как бы навстречу друг другу.

Напряжение к сеткам ламп подводится от концов вторичной обмотки входного трансформатора $Тр_1$. Так как на концах обмотки напряжения в каждый момент имеют противоположные знаки, то и к сеткам ламп подводятся напря-

жения противоположных знаков. Кроме того, так как средняя точка вторичной обмотки соединена с катодами ламп, то очевидно, что на каждую сетку подается половина полного напряжения, возникающего на зажимах вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$.

Первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ устроена так же, как вторичная трансформатора $Тр_1$, т. е. имеет среднюю точку, к которой подводится анодное напряжение. Анодные токи обеих ламп направлены (каждый по соответствующей половине обмотки) в противоположные стороны, и в сердечнике трансформатора возникает магнитный поток, создаваемый разностью обоих анодных токов. Так как к сеткам ламп подводятся противоположные напряжения, то во время, когда сила анодного тока одной лампы возрастает, в другой лампе она уменьшается. Если один анодный ток уменьшается, а другой увеличивается, то разность их возрастает. Вместе с тем возрастает и магнитный поток в сердечнике трансформатора $Тр_2$, и вследствие изменения этого потока появляется напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора, т. е. на выходе усилителя. Пока на сетки ламп не действует переменное напряжение, оба анодных тока равны, и разность их, а следовательно, и магнитный поток равны нулю.

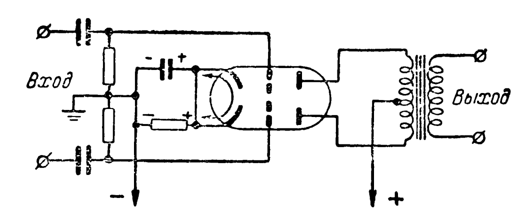
Когда на сетки ламп действует переменное напряжение, анодные токи ламп начинают изменяться в разные стороны и появляется напряжение во вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_2$.

Двухтактные схемы по сравнению с обычными схемами обладают целым рядом преимуществ, важнейшие из которых сводятся к следующему. Двухтактная схема облегчает борьбу с различными видами искажений и дает тем самым возможность получения передачи более высокого качества. Вместе с тем эта схема дает экономию в расходовании анодного тока и уменьшает нагрузку на анодах ламп. Это становится возможным потому, что в двухтактной схеме рабочая точка может находиться не в середине прямолинейной части характеристик, а вблизи нижнего изгиба. Благодаря тому, что лампы работают «навстречу», это не вызывает заметных нелинейных искажений. Среднее же значение анодного тока при таком режиме гораздо меньше, чем при рабочей точке, лежащей на середине характеристики.

Наконец, в двухтактной схеме магнитный поток в сердечнике трансформатора равен разности магнитных пото-

ков, создаваемых анодными токами обеих ламп, т. е. во всяком случае он меньше, чем магнитный поток, создаваемый одной лампой. Поэтому в двухтактных схемах устраняется опасность насыщения железа сердечника и вместе с этим возможность возникновения искажений передачи.

Все эти преимущества, конечно, особенно существенны для мощных усилителей, и поэтому двухтактные схемы применяются главным образом в оконечных ступенях, особенно в тех случаях, когда важную роль играют вопросы уменьшения расхода энергии источника анодного напряжения и повышения к. п. д. усилителя.



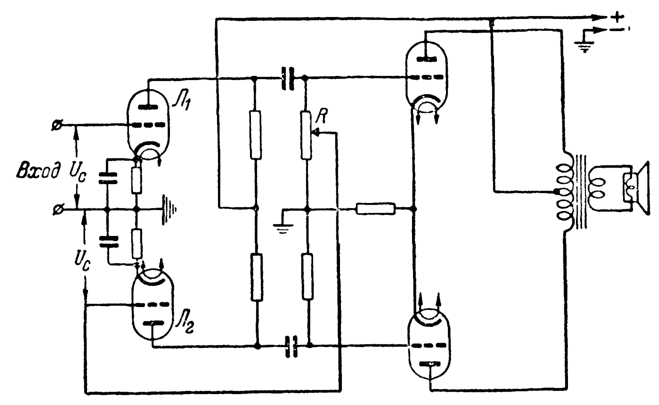
Фиг. 104. Двухтактный усилитель на двойном триоде.

Широкое распространение двухтактных схем вызвало появление специальной лампы, так называемого двойного триода. Эта лампа имеет два катода (иногда один общий катод), две отдельные сетки и два отдельных анода и представляет собой, в сущности, два отдельных триода, смонтированные в одном баллоне. Каждый из этих триодов работает как обычный триод, в одном из плеч двухтактной схемы. Схема двухтактного усилителя на двойном триоде приведена на фиг. 104.

Двухтактная схема оконечного усилителя требует подачи на сетки ее ламп напряжений звуковой частоты с одинаковыми амплитудами и с противоположными фазами. В схеме, приведенной на фиг. 103, это осуществлялось при помощи входного трансформатора, имеющего отвод от средней точки вторичной обмотки. Применение трансформатора для перехода от однотактной схемы к двухтактной не всегда удобно, так как изготовление этой детали довольно сложно В связи с этим получили широкое распространение так называемые фазоопрокидывающие (фазоинверторные) схемы. Одна из таких схем изображена на фиг. 105.

В этой схеме лампа $Л_1$ работает в качестве предварительного усилителя, а лампа $Л_2$ создает добавочное напряжение с опрокинутой на 180° фазой.

Напряжение звуковой частоты, поступающее на вход лампы $Л_1$, усиливается ею и через переходный конденсатор подается на сопротивление R в цепи сетки верхней лампы выходного каскада. При помощи ползунка часть напряжения, развиваемого на сопротивлении R, подается на сетку лампы $Л_2$, которая усиливает это напряжение. За-



Фиг. 105. Фазоопрокидывающая схема.

тем это усиленное напряжение поступает на сетку нижней лампы выходного каскада.

Во всяком усилительном каскаде на сопротивлениях переменные напряжения на сетке и на аноде сдвинуты по фазе на 180°. В самом деле, при подаче положительного напряжения на сетку, увеличивается анодный ток и увеличивается падение напряжения на сопротивлении анодной нагрузки. Следовательно, на присоединенном к аноду конце нагрузки напряжение падает. А это значит, что переменное напряжение, снимаемое с анодной нагрузки, отрицательно. При подаче же отрицательного напряжения на сетку все явления протекают в обратном порядке, и в результате с анода лампы снимается положительное напряжение.

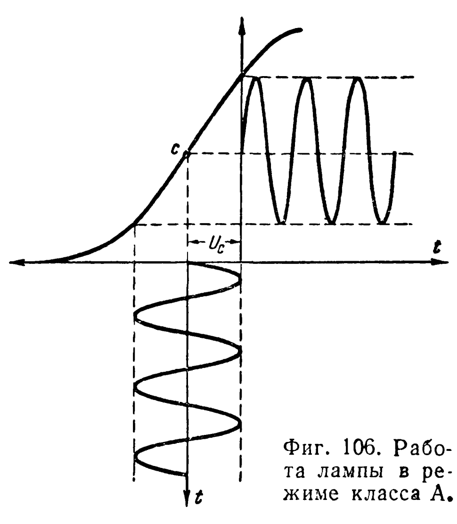
В схеме, изображенной на фиг. 105, напряжение, поступающее на сетку верхней лампы выходного каскада, изменяет свою фазу на 180° один раз (при усилении в лампе $Л_1$), а напряжение, поступающее на сетку нижней лампы

выходного каскада, изменяет свою фазу дважды (при усилении в лампе $Л_1$ и при усилении в лампе $Л_2$). Таким образом, напряжения на сетках верхней и нижней ламп выходного каскада будут сдвинуты по фазе одно относительно другого на 180°, т. е. будет выполнено одно из условий двухтактного усиления. Второе условие, заключающееся в равенстве амплитуд, выполняется путем перемещения ползунка по сопротивлению R.

21. КЛАССЫ УСИЛЕНИЯ

Рассматривая принцип усиления при помощи трехэлектродной лампы (§ 8), мы установили, что для неискаженного усиления необходимо, чтобы подводимое к сетке лампы напряжение не выходило за пределы прямолинейного участка характеристики.

Тогда форма кривой изменений анодного тока совпадает с формой кривых напряжений на сетке (фиг. 106), и искажения отсутствуют. Для соблюдения указанного условия выгоднее всего подобрать такой режим работы усилителя, чтобы рабочая точка находилась примерно на середине прямолинейного участка характеристики (точка C на фиг. 106). Этот режим работы усилителя называется усилением класса А.

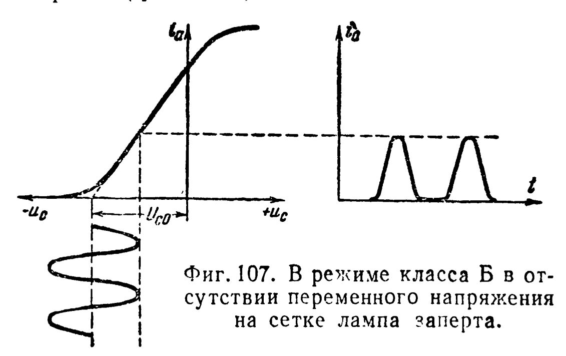


Фиг. 106. Работа лампы в режиме класса А.

В режиме класса А работают все однотактные усилители. При работе в этом режиме через лампу все время течет постоянная составляющая анодного тока и, следовательно, рассеивается мощность на аноде лампы. Это обстоятельство не является существенным в ступенях предварительного усиления, так как сила анодного тока в них невелика, но оно очень невыгодно в оконечном мощном усилителе, где анодные токи ламп, а следовательно, и мощности, рассеиваемые на аноде, довольно велики.

С целью уменьшения мощности, потребляемой оконечной ступенью от источника анодного напряжения, применяют такие режимы работы ламп, при которых постоянная составляющая анодного тока лампы зависит от амплитуды напряжения на сетке. К таким режимам относятся усиление класса Б и класса АБ.

В режиме класса Б на сетку лампы подается такое напряжение смещения, чтобы лампа оказалась почти полностью запертой (фиг. 107).



Фиг. 107. В режиме класса Б в отсутствии переменного напряжения на сетке лампа заперта.

В этом режиме лампа работает только в течение положительных полупериодов напряжения на сетке. В течение же отрицательных полупериодов лампа остается запертой.

Совершенно очевидно, что при однотактной схеме работа лампы в режиме класса Б будет сопряжена с большими искажениями, так как форма кривой анодного тока резко отличается от формы кривой напряжения на сетке.

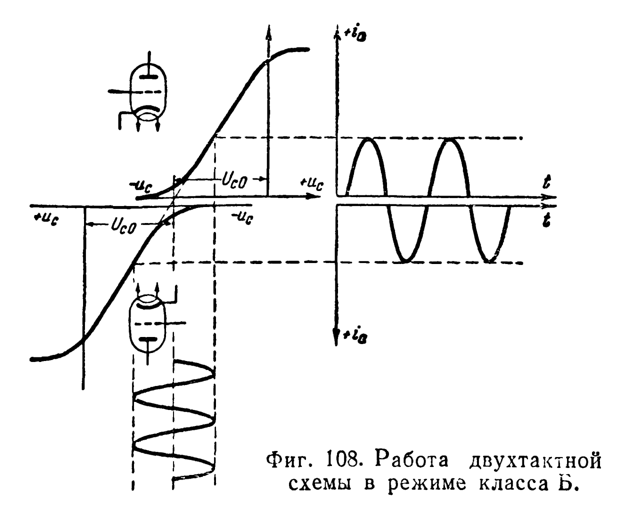
В двухтактной схеме лампы работают поочередно. Поэтому одна из ламп будет усиливать в течение одних полупериодов, а другая — в течение других полупериодов. Таким образом, будут усилены обе половины синусоидального напряжения на сетке (фиг. 108).

В выходном трансформаторе анодные токи обеих ламп создают магнитные потоки, которые дополняют друг друга, и поэтому изменения полного магнитного потока в сердечнике трансформатора имеют такую же форму, как и напряжение на сетках ламп — усиление происходит без искажений.

Режим класса Б очень экономичен, так как анодные токи в лампах возникают только тогда, когда появляется переменное напряжение на их сетках.

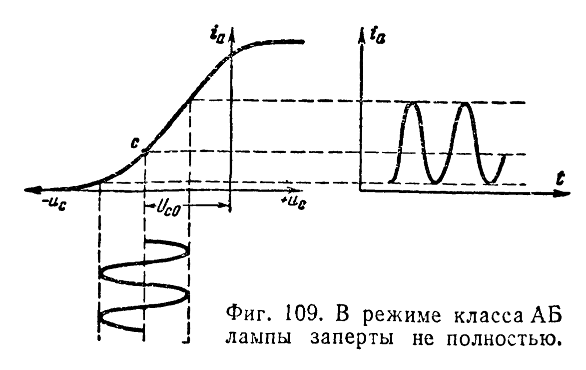
Режим класса АБ является промежуточным между режимами класса А и класса Б.

В режиме класса АБ напряжение смещения на сетках ламп выбирается несколько меньше, чем в режиме клас-



Фиг. 108. Работа двухтактной схемы в режиме класса Б.

са Б, так что лампы в отсутствие сигналов не заперты, но рабочая точка лежит не на середине прямолинейного участка характеристики, а вблизи нижнего ее изгиба (точка *С*,



Фиг. 109. В режиме класса АБ лампы заперты не полностью.

фиг. 109). Вследствие несимметричности характеристики в обе стороны от рабочей точки при работе однотактной схемы в таком режиме возникают большие искажения, в двухтактной же схеме в силу ее симметричности эти иска-

жения компенсируются так же, как и при работе в режиме класса Б.

Режим класса АБ более экономичен, чем режим класса А, но менее, чем режим класса Б.

22. ИСКАЖЕНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ

Приемник должен обеспечивать высокое качество воспроизведения звука. При плохом качестве воспроизведения не только теряется художественность музыкальной передачи, но часто даже речь делается неразборчивой.

Причинами отличия воспроизведенного звука от передаваемого являются искажения. Искажения возникают во всех элементах тракта радиопередачи, но бо́льшая часть их появляется в усилителе низкой частоты и громкоговорителе. Мы будем здесь рассматривать только те искажения, которые возникают в усилителе низкой частоты.

Искажения делятся на три основные группы: 1) нелинейные искажения; 2) частотные искажения; 3) фазовые искажения.

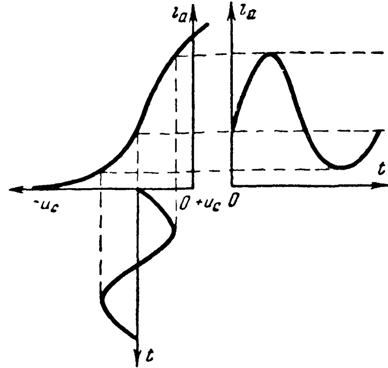
Нелинейные искажения характеризуются тем, что в усилителе возникают добавочные звуковые колебания (гармоники), которых не было в частотном спектре естественного звука. Нелинейными эти искажения называются потому, что основной причиной их возникновения является нелинейность (кривизна) ламповых характеристик, а иногда и нелинейность в других элементах схемы. Например, если в выходном трансформаторе железо сердечника намагничивается до насыщения, то нарушается пропорциональность между напряжениями на входе и выходе трансформатора. Выраженная графически зависимость между входным и выходным напряжениями трансформатора представляется не прямой, как должно было бы быть, а кривой линией. Вследствие этого также искажается форма напряжения на выходе — появляются гармоники, которых не было в подводимом к усилителю напряжении.

Степень нелинейных искажений обычно оценивается отношением корня квадратного из суммы квадратов амплитуд возникших гармоник к амплитуде основного синусоидального колебания. Эта величина называется коэффициентом нелинейных искажений. Для того чтобы выразить эту величину в процентах, указанное выше отношение умножают на 100.

Чем больше процентное содержание гармоник, тем хуже качество воспроизведения. Однако процентное содержание

гармоник еще не дает полного представления о действительной величине нелинейных искажений и о том, как они будут восприниматься слушателем. Дело в том, что восприятие нелинейных искажений в значительной мере зависит от того, какие из гармоник (четные или нечетные) преобладают в составе спектра искаженного звука. Нелинейные искажения сильнее заметны при появлении нечетных гармоник.

Помимо возникновения гармоник нелинейные искажения приводят к образованию комбинационных тонов, которые также ухудшают качество воспроизведения. Комбинационные тона представляют собой колебания, частоты которых равны сумме или разности (или другой простой комбинации) частот нескольких налагающихся друг на друга колебаний. Комбинационные тона возникают в нелинейном элементе при прохождении по нему тока сложной формы, т. е. состоящего из нескольких синусоидальных токов различных частот.

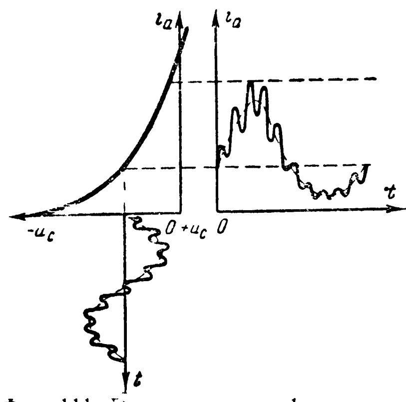


Фиг. 110. При искажении формы чисто синусоидального колебания возникают только гармоники этого колебания.

Как возникают гармоники и комбинационные частоты и какая разница между ними?

Пусть на сетку лампы с криволинейной характеристикой подается чисто синусоидальное напряжение. При помощи уже применявшегося нами графического построения (фиг. 110) можно легко убедиться, что анодный ток лампы уже не будет синусоидальным. В составе анодного тока кроме синусоидальных колебаний основной частоты появятся добавочные синусоидальные колебания с частотами, в целое число раз бо́льшими, чем основная частота. Это значит, что в искаженном колебании будут присутствовать гармоники, но не будет комбинационных тонов. Теперь представим себе, что к сетке той же лампы подводятся два напряжения разных частот, например 100 и 1 000 *гц*, причем амплитуда первого напряжения больше амплитуды второго (фиг. 111). Второе напряжение получается как бы наложенным на первое. Явление можно представить себе

таким образом, что к сетке лампы подводится напряжение только одной частоты 1 000 *гц*, но при этом одновременно меняется смещение на сетке лампы с частотой 100 *гц*. Поскольку характеристика лампы криволинейна, то при изменении смещения будет изменяться и крутизна в рабочей точке. Значит, для напряжения частоты 1 000 *гц* периодически с частотой 100 *гц* будет происходить изменение крутизны в рабочей точке, а значит, и усиления, даваемого лампой. Следовательно, на выходе лампы амплитуда напряжения частоты 1 000 *гц* будет 100 раз в секунду увеличиваться и 100 раз в секунду уменьшаться. Иначе говоря, напряжение частоты 1 000 *гц* будет промодулировано с частотой 100 *гц*. Как известно, модулированное напряжение всегда содержит кроме основной частоты по меньшей мере две боковых, отстоящих по обе стороны от основной (несущей) на интервал, равный частоте модуляции. Следовательно, в нашем случае должны появиться колебания с частотами 1 000—100=900 *гц* и 1 000+100=1 100 *гц*. Эти частоты и есть комбинационные частоты. Явление будет еще более сложным, если к сетке лампы будет подводиться не два, а несколько синусоидальных напряжений.



Фиг. 111. При искажении формы сложного колебания, состоящего из ряда синусоидальных колебаний, кроме гармоник возникают также комбинационные токи.

Объективная оценка величины нелинейных искажений требует сложных измерений с помощью специальной аппаратуры.

Поэтому в любительской практике основным критерием при сравнительной оценке нелинейных искажений служит слуховое восприятие.

Нелинейные искажения воспринимаются на слух как нечистое звучание, хрипение, изменение тембра, треск, царапание и дребезжание.

Поскольку основной причиной нелинейных искажений служит отсутствие прямой пропорциональности между изменениями тока и напряжения в том или ином элементе

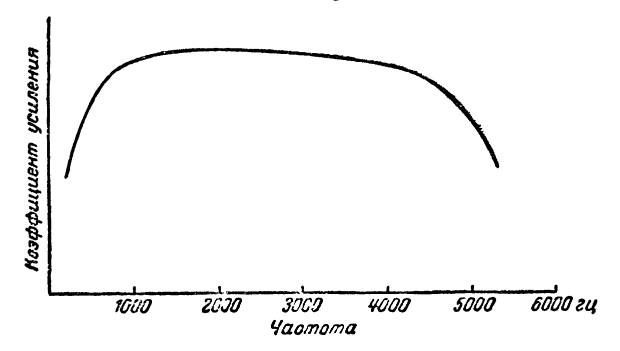
низкочастотной цепи, то необходимо позаботиться о том, чтобы эта пропорциональность строго соблюдалась, и прежде всего правильно выбрать режим усилительных ламп, руководствуясь изложенными выше соображениями.

В оконечной ступени нелинейные искажения возникают особенно легко по той причине, что к сетке оконечной лампы обычно подводятся уже большие переменные напряжения и поэтому опасность выхода за пределы прямолинейного участка характеристики здесь особенно велика. По той же причине оконечная ступень нередко работает при наличии токов сетки, что также может служить причиной нелинейных искажений.

Если после отключения оконечной ступени усилителя при прослушивании приема от предпоследней лампы (на телефонные трубки) нелинейные искажения становятся заметно меньше, это указывает на то, что главной причиной их была оконечная ступень. Однако это правильно лишь при том условии, если не вносит искажений громкоговоритель, так как при плохом громкоговорителе искажения неизбежны даже в том случае, когда усилитель работает безупречно. Нелинейные искажения, обнаруженные в оконечной ступени, можно уменьшить путем подбора правильного режима работы лампы, в первую очередь выбора анодного напряжения и напряжения смещения.

Как уже указывалось выше, в усилителе низкой частоты кроме нелинейных искажений возникают еще частотные искажения. Частотными называются такие искажения, при которых соотношения между амплитудами колебаний различных частот, существующие в передаваемых звуках, нарушаются в воспроизводимых звуках. Причиной частотных искажений в цепях низкой частоты являются либо неодинаковое усиление колебаний различных частот в усилителе, либо неодинаковое воспроизведение этих колебаний громкоговорителем. Чтобы усилитель низкой частоты не давал частотных искажений, он должен примерно одинаково усиливать колебания всех частот, лежащих в пределах передаваемого звукового диапазона. Поэтому, изучая качества усилителя, необходимо не только определить, какое усиление он может дать при определенной частоте усиливаемых колебаний, но выяснить также, как величина этого усиления зависит от частоты усиливаемых колебаний. Подводя к усилителю напряжения вполне определенной амплитуды, но разной частоты и одновременно измеряя те напряжения, которые дает усилитель на выходе, можно определить ко-

эффициент усиления, даваемый данным усилителем при той или другой частоте усиливаемых колебаний. Результаты этих измерений можно изобразить графически, откладывая по горизонтальной оси частоты усиливаемых колебаний, а по вертикальной — усиление, которое на этой частоте дает усилитель. Этот график называется амплитудно-частотной или просто частотной характеристикой усилителя; по ней можно судить о том, насколько усилитель удовлетворяет указанному выше требованию примерно одинакового усиления колебаний различной частоты. Очевид-



Фиг. 112. Частотная характеристика усилителя. Она позволяет судить о степени равномерности усиления различных частот.

но, чем больше частотная характеристика по форме приближается к горизонтальной прямой во всем диапазоне передаваемых частот, тем лучше соблюдается это требование. Примерная частотная характеристика усилителя низкой частоты приведена на фиг. 112.

Нужно, однако, иметь в виду, что частотная характеристика усилителя только при полной громкости должна быть приблизительно горизонтальной во всей передаваемой полосе частот. При пониженной громкости частотная характеристика приемника должна иметь подъем в области низких частот в 3—4 раза, так как ухо хуже воспринимает низкие звуки, чем высокие.

Конечно, нельзя построить усилитель, который обладал бы абсолютно прямолинейной и горизонтальной частотной характеристикой.

Препятствуют этому главным образом две причины: во-первых, паразитные емкости, которыми обладают все элементы схемы усилителя и все ее провода, и, во-вторых, на-

личие переходных емкостей между отдельными ступенями усилителя. Паразитные емкости схемы всегда шунтируют сеточные и анодные сопротивления. Если емкостные сопротивления этих паразитных емкостей становятся сравнимыми с величинами сеточных или анодных сопротивлений, то общее сопротивление анодной нагрузки или цепи, включенной между сеткой и катодом, уменьшается, вследствие чего падает усиление. Так как емкостное сопротивление уменьшается с ростом частоты, то паразитные емкости между отдельными элементами схемы сказываются тем сильнее, чем больше частота усиливаемых колебаний.

Если считать, что величина этих паразитных емкостей составляет несколько десятков сантиметров, то эти емкости будут представлять для средних частот звукового диапазона сравнительно большие сопротивления — порядка нескольких миллионов ом, и, следовательно, они не будут сколько-нибудь заметно понижать коэффициент усиления. Однако для наиболее высоких частот звукового диапазона эти сопротивления паразитных емкостей понижаются уже до сотен тысяч ом и, следовательно, могут оказаться равными или даже меньшими обычно применяемых анодных или сеточных сопротивлений. Поэтому усилитель низкой частоты на сопротивлениях в области высоких частот имеет спадающую частотную характеристику («завал» на высоких частотах).

С другой стороны, при очень низких частотах начинает сказываться то обстоятельство, что переходные емкости обладают уже заметным сопротивлением для усиливаемой частоты. Когда сопротивление переходной емкости становится сравнимым с сеточным сопротивлением, усиление, даваемое усилителем, падает. Поэтому на очень низких частотах усилитель на сопротивлениях дает тоже малое усиление («завал» на низких частотах). В конечном счете наиболее низкие и наиболее высокие колебания усилитель плохо усиливает. Однако обычно и не требуется, чтобы значительно усиливались эти частоты. Достаточно, если колебания всех частот, лежащих в средней части звукового диапазона (примерно от 100 до 5 000 *гц*), будут усиливаться приблизительно в одинаковой степени[1].

В усилителе низкой частоты на сопротивлениях это достигается сравнительно простыми средствами — правильным выбором величин сопротивлений и емкостей, входящих

[1] Только в некоторых специальных случаях от усилителя низкой частоты требуется равномерное усиление в более широкой полосе частот.

в схему, и рациональным ее выполнением. Во всех же других типах усилителей низкой частоты достигнуть равномерного усиления в таком диапазоне частот чрезвычайно трудно, и поэтому по сравнению со всеми другими усилителями усилитель низкой частоты на сопротивлениях по праву может считаться «неискажающим усилителем». В этом заключается основное достоинство усилителя на сопротивлениях.

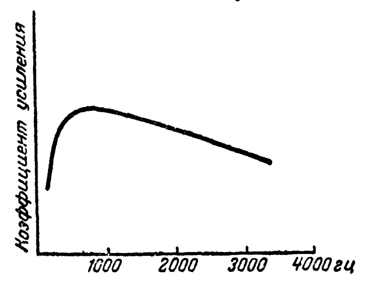
Перейдем теперь к частотным искажениям в усилителях низкой частоты на трансформаторах.

При рассмотрении схемы усилителя на трансформаторах уже было отмечено, что обмотки трансформатора обладают не только индуктивностью, но также и некоторой собственной емкостью.

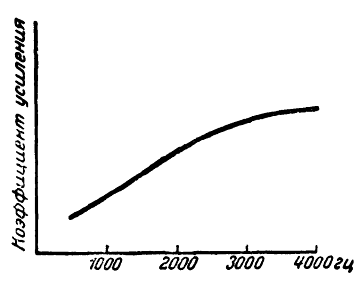
Влияние этих емкостей очень сильно сказывается на работе трансформатора. Если бы обмотки трансформатора обладали только индуктивностью, то можно было бы выбрать ее настолько большой, что даже для самых низких частот, подлежащих усилению, эта индуктивность составляла бы достаточно большое сопротивление по сравнению с внутренним сопротивлением лампы. При этих условиях и усиление на всех частотах получалось бы примерно одинаковым. При наличии же паразитной емкости общее сопротивление обмотки переменному току той или иной частоты зависит не только от величины индуктивности, но и от величины емкости. Картина получается гораздо более сложной, чем в случае одной индуктивности. Так, например, для более высоких частот индуктивное сопротивление обмотки возрастает, но зато уменьшается сопротивление включенной параллельно обмотке паразитной емкости. В результате общее сопротивление трансформатора может оказаться для высоких частот меньшим, чем для низких. В конечном счете это приводит к тому, что трансформатор никогда не обладает одинаковым сопротивлением для всех звуковых частот и, следовательно, не обеспечивает равномерного их усиления в усилителе.

Вообще частотная характеристика усилителя сильно зависит от типа и конструкции примененных междуламповых, а также входного и выходного трансформаторов. При одном типе трансформатора могут получиться большое усиление на низких частотах и уменьшение усиления на более высоких, т. е. усилитель будет иметь частотную характеристику, изображенную на фиг. 113. При другом типе трансформатора могут больше усиливаться высокие частоты и слабее — низкие, т. е. характеристика будет иметь вид, изображенный

на фиг. 114. Однако в обоих случаях усиление на самых низких частотах будет мало, так как на этих частотах (в начале звукового диапазона) всякий трансформатор обладает очень малым индуктивным сопротивлением.

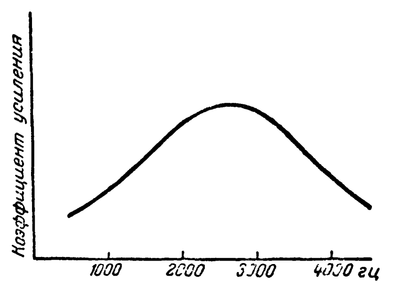


Фиг. 113. Низкие частоты усиливаются лучше высоких.



Фиг. 114. Низкие частоты усиливаются хуже высоких.

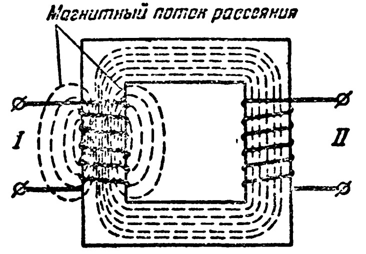
Кроме двух рассмотренных нами типов частотной характеристики часто встречается и третий тип характеристики, изображенный на фиг. 115. Кривая, приведенная на фиг. 115, по форме напоминает известную кривую резонанса. Действительно, наличие такой частотной характеристики указывает на то, что в цепи усилителя имеет место явление резонанса. Причина этого явления заключается в том, что самоиндукция и емкость обмотки трансформатора образуют некоторый колебательный контур, обладающий определенной собственной частотой. Именно для этой частоты сопротивление обмоток переменному току будет наибольшим, и усилитель будет давать наибольшее усиление. Если собственная частота трансформатора лежит в пределах полосы звуковых частот, то частотная характеристика принимает вид, изображенный на фиг. 115. Явления резонанса в трансформаторе низкой частоты могут быть гораздо более сложного характера, чем только что описанное. Собственной частотой может обладать не только первичная обмотка трансформатора, но и вторичная его обмотка.



Фиг. 115. При наличии резонансных явлений усиление в области некоторых частот может сильно повышаться.

Могут также появляться резонансные частоты вследствие наличия магнитного рассеяния в трансформаторе.

Ни один из реальных трансформаторов не может быть сконструирован так, чтобы весь магнитный поток, создаваемый первичной обмоткой, полностью пронизывал витки вторичной обмотки. Всегда некоторая часть магнитных силовых линий будет замыкаться, минуя вторичную обмотку (фиг. 116). Эта часть магнитного потока называется потоком рассеяния. Наличие потока рассеяния может быть условно изображено на схеме трансформатора в виде двух



Фиг. 116. Часть магнитных силовых линий замыкается, минуя вторичную обмотку.

Индуктивности рассеяния
Распределенные емкости обмоток
Междуэлектродная емкость лампы

Фиг. 117. Индуктивность рассеяния совместно с междуэлектродной емкостью лампы и междувитковой емкостью трансформатора образует колебательный контур.

небольших катушек индуктивности, включенных последовательно с первичной и вторичной обмотками, так как магнитный поток рассеяния создает э. д. с. только в своей обмотке и не создает в соседней. Точно так же действовали бы добавочные витки обмоток, намотанные не на общий сердечник, а на отдельные сердечники.

Индуктивность рассеяния совместно с междуэлектродной емкостью лампы и распределенной емкостью обмоток трансформатора образуют колебательный контур (фиг. 117). Резонансная частота этого колебательного контура обычно лежит в области сравнительно высоких частот (4 000 — 6 000 *гц*), вследствие чего характеристика усилителя на этих частотах имеет подъем («пик») (фиг. 118).

Частотные характеристики, которые мы рассмотрели, говорят о том, что усилитель всегда вносит искажения в передачу. В зависимости от вида частотной характеристики характер вносимых усилителем искажений в разных случаях будет различным. В случае частотной характеристики, изображенной на фиг. 113, усилитель будет больше усили-

вать низкие частоты, чем высокие, и, следовательно, понижать тембр передачи. В случае характеристики, приведенной на фиг. 114, наоборот, произойдет повышение тембра передачи. Наконец, в случае резонансных явлений (фиг 115) искажения будут сводиться к тому, что резонансные частоты усилителем будут воспроизводиться особенно громко. Все эти три типа искажений могут заметно понизить художественность передачи.

Радиолюбитель не всегда имеет возможность снять частотную характеристику приемника. Поэтому полезно уметь приблизительно оценивать характер частотных искажений в усилителе.



Фиг. 118. Резонанс может улучшить частотную характеристику усилителя.

При завале частотной характеристики в области высоких частот воспроизведение музыки приобретает глухой «деревянный» оттенок.

Воспроизведение речи становится таким, как будто у говорящего во рту есть что-то постороннее. Очень многие согласные звуки совсем пропадают или становятся похожими на другие. Так, например, если плохо воспроизводятся колебания, начиная с частоты в 6 000 *гц* и выше, буква с звучит уже придавленно, при завале, начинающемся с частоты 2 600 *гц* — с и ф слабо различимы, х походит на придавленное с.

Кроме того, характерным признаком недостаточного усиления высоких частот является плохое воспроизведение некоторых шумов (аплодисментов, шелеста переворачиваемых листов бумаги и т. п.). При завале низких частот появляется металлический оттенок передачи и плохое воспроизведение низких тонов.

Пики в области высоких частот, подчеркивая высокие тона в передаче, придают ей металлическую звонкость и усиливается шипящий фон передачи. Пики в области низких частот (они встречаются реже, чем пики в области высоких частот) не особенно портят воспроизведение, а иногда даже придают ему приятную сочность.

Укажем теперь вкратце, какими мерами можно уменьшить частотные искажения в трансформаторных усилите-

лях низкой частоты. Так как искажения вызываются главным образом свойствами междуламповых, а также входного и выходного трансформаторов, то самый лучший метод устранения искажений — это применение высококачественных трансформаторов. Однако изготовление таких трансформаторов—задача очень сложная, и радиолюбителю обычно приходится применять трансформаторы, которые дают заметные частотные искажения. Ослабить эти искажения можно прежде всего, подбирая различные трансформаторы для различных ступеней усиления. Если, например, все применяемые в предыдущих ступенях трансформаторы дают пики на одной и той же частоте, то, очевидно, общая характеристика усилителя на этой частоте будет иметь больший пик и искажения будут очень сильны. Если же подобрать трансформаторы так, чтобы их пики лежали в разных частях звукового диапазона, то искажения будут гораздо менее заметны. Для устранения пиков и выравнивания частотной характеристики трансформаторного усилителя применяется также шунтирование вторичных обмоток трансформаторов омическими сопротивлениями (в несколько тысяч ом). Нагружая трансформатор, такое сопротивление, конечно, снижает даваемое им напряжение, а значит уменьшает даваемое усилителем усиление, но зато ослабляет зависимость этого напряжения от частоты и, в частности, устраняет резонансные пики трансформатора.

Вообще уменьшение как нелинейных, так и частотных искажений почти всегда достигается за счет уменьшения усиления. Стремление же «выжать» из усилителя максимум усиления всегда влечет за собой увеличение нелинейных и частотных искажений, т. е. ухудшение качества звучания.

23. РЕЖИМ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

Различают два режима работы электронной лампы: статический (режим покоя) и динамический (режим работы). Статическим называется такой режим, когда на сетку лампы не действуют переменные напряжения (отсутствует раскачка). В этом режиме через лампу текут только постоянные токи. Статический режим определяется величинами постоянных напряжений, подведенных к электродам лампы.

Динамическим называется такой режим, когда на сетку лампы подается переменное напряжение — лампа работает в режиме раскачки. При этом через лампу текут и постоянные и переменные токи. Характер динамического режима

определяется величинами постоянных и переменных напряжений, подводимых к электродам лампы, и характером и величиной нагрузки в ее анодной цепи.

Подбирая нужный режим для лампы в зависимости от ее назначения, стремятся достигнуть: 1) возможно большего коэффициента усиления; 2) наилучшего использования лампы по мощности; 3) минимума искажений; 4) экономичности.

При выборе режима работы ламп предварительного усиления имеют значение только первое и третье требования, а при выборе режима работы оконечных ламп — второе, третье и четвертое.

В первой ступени усилителя низкой частоты применяют обычно триод, работающий по схеме усиления на сопротивлениях. Подбор режима сводится к выбору постоянных напряжений, сопротивления нагрузки и напряжения раскачки.

Сопротивление нагрузки берется в 3—5 раз больше величины внутреннего сопротивления лампы. Как уже указывалось, при меньших величинах сопротивления нагрузки коэффициент усиления быстро уменьшается, а при больших—незначительно растет. Кроме того, при большой величине сопротивления нагрузки трудно получить хорошую частотную характеристику усилителя.

Напряжение смещения выбирается несколько больше ожидаемой максимальной амплитуды раскачки. Анодное напряжение должно быть такой величины, чтобы обеспечить работу лампы на прямолинейном участке характеристики.

При выборе анодного напряжения нужно исходить не из статической, а из динамической характеристики, рассмотренной в § 8. Зная величину анодной нагрузки, динамическую характеристику можно построить, исходя из статической, следующим образом. Нужно взять на статической характеристике несколько точек. Затем значения анодного тока (в амперах), соответствующие этим точкам характеристики, надо умножить на сопротивление нагрузки R_a и разделить на коэффициент усиления лампы μ. После этого перенести все точки вправо по горизонтали на величину полученных напряжений. Линия, соединяющая перенесенные точки, и будет динамической характеристикой.

Такое построение выполнено на фиг. 119 для лампы с коэффициентом усиления $\mu = 100$ и для сопротивления анодной нагрузки $R_a = 50\,000$ *ом*.

На статической характеристике, соответствующей напряжению анодной батареи, взято три точки (*1*, *2* и *3*).

Этим трем точкам соответствуют три точки динамической характеристики ($1'$, $2'$ и $3'$).

Точка $1'$ получена путем перенесения вправо точки 1 на величину

$$\frac{I_{a1}R_a}{\mu} = \frac{0{,}0007 \cdot 50\,000}{100} = 0{,}35 \text{ в},$$

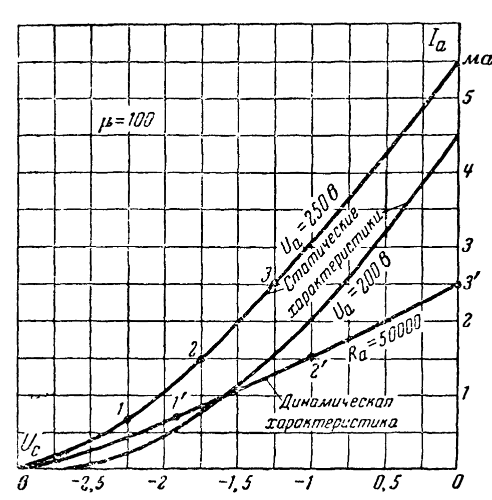
точка $2'$—путем перенесения вправо точки 2 на величину

$$\frac{I_{a2}R_a}{\mu} = \frac{0{,}0015 \cdot 50\,000}{100} = 0{,}75 \text{ в}$$

и точка $3'$—путем такого же перемещения точки 3 на величину

$$\frac{I_{a3}R_a}{\mu} = \frac{0{,}0025 \cdot 50\,000}{100} = 1{,}25 \text{ в}.$$

В выходном каскаде приемника чаще всего применяется пентод. Для выбора режима пентода удобнее пользоваться семейством анодных характеристик, изображающих зависимость анодного тока от анодного напряжения при различных напряжениях смещения и при постоянном напряжении на экранной сетке (фиг. 120).



Фиг. 119. Построение динамической характеристики.

Выбор режима начинается с выбора напряжения смещения, напряжения на экранной сетке и напряжения на аноде. Напряжение смещения выбирается из соображений экономичности режима. Чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем меньше анодный ток и тем, следовательно, экономичнее режим. Однако итти слишком далеко в этом направлении нельзя. Для каждого значения анодного и экранного напряжений существует определенная наивыгоднейшая с точки зрения получения наибольшей неискаженной мощности величина напряжения смещения. Чем меньше

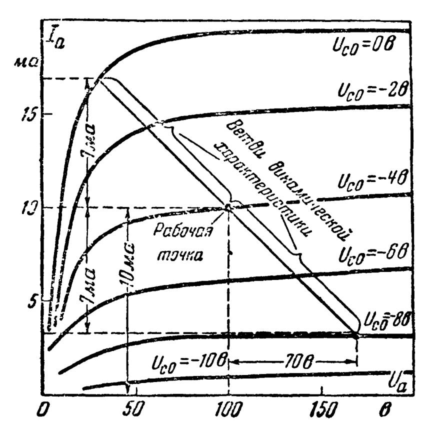
напряжения на экранной сетке и на аноде, тем меньше это наивыгоднейшее смещение. Следовательно, при чересчур большом напряжении смещения с лампы нельзя будет снять большую неискаженную мощность.

Для получения наибольшей неискаженной мощности выгодно применять наибольшее допустимое для данной лампы анодное напряжение.

При питании приемника от сети переменного тока это условие легко выполнимо. При питании же приемника от батарей анодное напряжение приходится выбирать равным напряжению имеющейся батареи.

Напряжение на экранной сетке выходной лампы, как правило, выбирается равным анодному напряжению.

Для примера произведем выбор режима работы оконечного пентода по характеристикам, изображенным на фиг. 120.



Фиг. 120. Выбор режима работы оконечного пентода по семейству анодных характеристик.

Эти характеристики сняты при напряжении на экранной сетке, равном 100 *в*. Выберем анодное напряжение также равным 100 *в*. Наивыгоднейшим напряжением смещения при этих условиях будет −4 *в*, так как характеристика соответствующая этому напряжению смещения, лежит примерно в середине всего семейства характеристик и, следовательно, при подаче на сетку переменного напряжения изменения анодного тока будут симметричными в обе стороны.

Анодный ток покоя при напряжении смещения, равном —4 *в*, будет равен 10 *ма*. Определив статический режим лампы, перейдем к выбору динамического режима.

Динамический режим определяется напряжением раскачки и динамической характеристикой лампы. Наклон динамической характеристики зависит от нагрузки в анодной цепи лампы, т. е. от сопротивления громкоговорителя или выходного трансформатора.

Сопротивление громкоговорителя всегда бывает много меньше, чем внутреннее сопротивление пентода. Поэтому,

если оконечной лампой является пентод, то громкоговоритель всегда включается через понижающий трансформатор. Для подсчета сопротивления анодной нагрузки нужно, как уже указывалось, умножить сопротивление громкоговорителя на квадрат отношения числа витков в первичной обмотке к числу витков во вторичной обмотке понижающего выходного трансформатора. Например, если сопротивление громкоговорителя равно 2,5 *ом*, то при включении его в анодную цепь лампы через понижающий трансформатор, у которого в первичной обмотке в 60 раз больше витков, чем во вторичной, сопротивление анодной нагрузки будет равно $2{,}5 \cdot 60^2 = 9\,000$ *ом*.

Динамическая характеристика близка к прямой линии, а наклон ее зависит от сопротивления нагрузки. Чем больше сопротивление нагрузки, тем меньше крутизна динамической характеристики и, наоборот, чем меньше сопротивление анодной нагрузки, тем больше крутизна динамической характеристики. В самом деле, если сопротивление анодной нагрузки очень велико, то даже очень большие изменения напряжения на сетке не вызовут сколько-нибудь значительных изменений анодного тока, но зато изменения напряжения на аноде будут велики и, следовательно, динамическая характеристика будет близка к горизонтали. Если же сопротивление нагрузки очень мало, то даже незначительные изменения напряжения на сетке будут вызывать заметные изменения анодного тока, но изменения напряжения на аноде будут малы и, следовательно, динамическая характеристика будет близка к вертикали.

Наивыгоднейшим с точки зрения наибольшей неискаженной мощности наклоном динамической характеристики будет такой, при котором она будет симметричной в обе стороны от рабочей точки. Обращаясь к фиг. 120, мы видим, что это условие лучше всего соблюдается при наклоне динамической характеристики (для данного случая) около 45°. При таком наклоне обе ветви динамической характеристики в области сеточных напряжений от 0 до —8 *в* имеют примерно одинаковую длину. Это значит, что при изменениях напряжения на сетке от —4 *в* до 0 *в* и от —4 *в* до —8 *в* изменения анодного тока в обе стороны будут симметричными (в данном случае примерно по 7 *ма*). В силу прямолинейности динамической характеристики колебания напряжения на аноде будут также симметричными; как видно из фиг. 120, колебания напряжения в обе стороны достигают примерно 70 *в* от среднего анодного напряжения в 100 *в*.

Зная амплитуды переменных составляющих анодного тока и напряжения, нетрудно подсчитать, какую наибольшую неискаженную мощность сможет отдать пентод в этом режиме. Эта мощность будет равна:

$$P_{вых} = \frac{U_{а.м} I_{а.м}}{2} = \frac{70 \cdot 0{,}007}{2} = 0{,}245 \ \textit{вт}.$$

Для того чтобы действительно получить эту мощность в анодной нагрузке, необходимо, чтобы сопротивление этой нагрузки было равно:

$$R_а = \frac{U_{а.м}}{I_{а.м}} = \frac{70}{0{,}007} = 10\,000 \ \textit{ом}.$$

Следовательно, упомянутый в нашем примере понижающий выходной трансформатор с отношением чисел витков, равным 60, и динамик с сопротивлением 2,5 *ом* почти подходят для обеспечения требуемого режима.

Рассчитав режим ламп и собрав схему усилителя, необходимо убедиться в том, что действительные режимы соответствуют расчетным.

Проверка правильности режима состоит в измерении постоянных напряжений на электродах лампы и напряжения раскачки.

При измерении постоянных напряжений вольтметром этот последний является дополнительной нагрузкой, вызывающей падение напряжения в выпрямителе и на сопротивлениях схемы. Поэтому показания вольтметра будут меньше истинных значений напряжений. Чтобы уменьшить эту ошибку измерений, нужно применять чувствительный вольтметр с большим внутренним сопротивлением (высокоомный вольтметр). Особенно важно соблюдать это требование при измерении напряжения смещения на сетках ламп. В случае применения вольтметра с малым сопротивлением ошибка будет настолько велика, что измерение теряет всякий смысл.

Для измерения напряжения раскачки требуется катодный вольтметр.

В случае отсутствия такового величину напряжения раскачки приходится оценивать приблизительно, рассчитав то напряжение, которое может дать предыдущая ступень усиления.

Наиболее простым способом определения наивыгоднейшего режима выходной лампы с точки зрения минимума нелинейных искажений является измерение постоянной соста-

вляющей анодного тока с помощью миллиамперметра, включенного в анодную цепь лампы.

Если оконечная лампа работает в режиме класса А (а такой режим должен быть выбран, когда в оконечной ступени работает одна лампа, а не две по двухтактной схеме), то не должно происходить изменения силы анодного тока при подаче раскачки на сетку лампы. Если миллиамперметр при включении раскачки покажет увеличение анодного тока, то это значит, что отрицательное смещение велико и рабочая точка находится на нижнем криволинейном участке характеристики. А это, как известно, служит причиной возникновения нелинейных искажений. Уменьшение же анодного тока при включении раскачки означает, что либо рабочая точка смещена вверх от середины характеристики, либо при раскачке возникают заметные сеточные токи. Оба эти обстоятельства обусловлены недостаточным отрицательным смещением и также могут служить причиной нелинейных искажений. Проверять постоянство анодного тока нужно при различных амплитудах раскачки, так как при несимметричном расположении рабочей точки иногда может случиться, что при большой раскачке сила анодного тока не изменяется, а при меньшей раскачке изменяется (при большой раскачке изменения анодного тока, вызванные выходом в обе стороны за пределы прямолинейной части характеристики, могут компенсировать друг друга).

Если для получения большой мощности на выходе применяется столь большая раскачка, что должны возникать сильные токи, то необходимо, во-первых, иметь перед оконечным каскадом достаточно мощную ступень предварительного усиления (так как возникновение сеточных токов связано с расходом мощности предыдущей ступени) и, во-вторых, шунтировать сопротивлением вторичную обмотку междулампового трансформатора, стоящего перед оконечной ступенью. Это шунтирующее сопротивление нагружает междуламповый трансформатор в течение обоих полупериодов переменного напряжения и тем самым сглаживает несимметрию в нагрузке, которая возникает в случае, когда трансформатор нагружен только сеточным током (так как сеточный ток нагружает трансформатор только при положительных напряжениях на сетке). Именно эта несимметрия в нагрузке, как уже указывалось в § 8, является причиной искажений, обусловленных сеточными токами.

ГЛАВА ПЯТАЯ

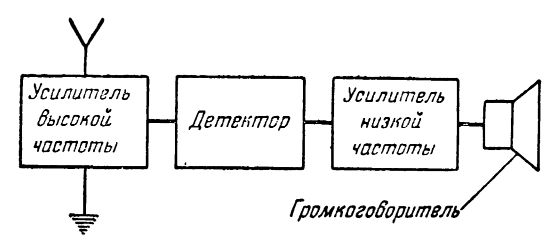
ЛАМПОВЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

24. ЭЛЕМЕНТЫ ЛАМПОВОГО ПРИЕМНИКА

Всякий ламповый приемник состоит из отдельных элементов, выполняющих разные функции, необходимые для осуществления радиоприема в целом. Разные типы ламповых приемников могут очень значительно отличаться друг от друга по схеме и устройству, но все они состоят из различных комбинаций отдельных элементов, причем число типов этих элементов сравнительно не велико. Поэтому мы не будем рассматривать всего разнообразия ламповых приемников, а ограничимся рассмотрением только тех основных элементов и нескольких наиболее типичных комбинаций этих элементов, из которых состоит всякий радиоприемник. Зная, как действует каждый из этих элементов и каково его назначение, уже нетрудно разобраться в устройстве и действии каждого конкретного типа радиоприемника.

Элементы, из которых состоит всякий радиоприемник, можно разбить на два основных типа: усилители электрических колебаний и преобразователи электрических колебаний. С назначением и устройством усилителей мы уже подробно знакомы и поэтому нам предстоит рассмотреть главным образом преобразователи и их сочетание с усилителями. Наиболее важным и обязательным во всяком приемнике преобразователем колебаний является детектор, роль которого нам уже известна. Детектор преобразует модулированные колебания высокой частоты таким образом, что из них выделяются колебания низкой частоты, соответствующие закону модуляции. Отсюда уже ясно наиболее простое сочетание детектора с усилителями. До детектора может быть применено усиление высокой частоты, а после него — усиление низкой частоты. Величина усиления, а следовательно, и число ступеней усиления высокой и низкой частоты зависят от того, какие задачи ставятся перед приемником. Общее усиление, которое должен давать приемник, определяется, с одной стороны, тем, какова сила сигналов, которые он должен принимать, а с другой, — тем, какова должна быть громкость воспроизведения этих сигналов громкоговорителем. Однако при этом обычно нельзя все требуемое общее усиление получить только за счет усиления низкой частоты и в большинстве случаев приходится применять в приемниках оба вида усилений.

Дело в том, что ни один детектор не может детектировать сколь угодно слабые колебания — для всякого детектора существует порог детектирования. Действительно, детектирование обусловлено неодинаковой проводимостью детектора в двух направлениях. Но ведь характеристика всякого реального проводника, в том числе и детектора, представляет собой какую-то плавную кривую и на малом участке напряжений наклон ее не может заметно измениться. А как мы знаем, именно наклон характеристики определяет сопротивление проводника. Поэтому на малых участках характеристики, т. е. при малых подводимых напряже-



Фиг. 121. До детектора применяется усиление высокой частоты, а после детектора — усиление низкой частоты.

ниях, сопротивление детектора в двух направлениях будет почти одинаково и он не будет детектировать. С другой стороны, обычно детектор не может пропускать сильных токов и поэтому сразу после детектора нельзя получить колебаний большой мощности. Поэтому обычно приходится до детектора применять усиление высокой частоты, чтобы довести напряжение принимаемых сигналов до величины, при которой детектор уже хорошо их детектирует. После же детектора надо применять усиление низкой частоты, чтобы довести мощность усиливаемых колебаний до величины, при которой будет достаточно громко работать громкоговоритель. Следовательно, типичная «блок-схема» лампового приемника с детектором в качестве преобразователя колебаний имеет вид, изображенный на фиг. 121.

Конечно, в некоторых специальных случаях может отсутствовать либо усиление высокой частоты, либо усиление низкой частоты. Например, если приемник предназначен для приема находящейся поблизости мощной станции, то приходящие из антенны сигналы будут достаточно сильны, и детектор будет способен их детектировать сразу без предварительного усиления на высокой частоте. Или же если

приемник предназначен для работы на телефон, то можно обойтись без усиления низкой частоты, так как детектор может дать ток, достаточный для нормальной работы чувствительного телефона. Но детектор является обязательным преобразовательным элементом всякого приемника, в том числе и лампового.

В ламповом приемнике нецелесообразно применять кристаллический детектор, так как ламповый детектор обладает целым рядом преимуществ и, кроме того, детектирование сигналов с помощью электронной лампы обычно легко сочетается с усилением этих сигналов той же лампой.

25. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ

Приемник с усилением высокой частоты может принимать гораздо более слабые сигналы, чем приемник без усиления высокой частоты. Однако не следует думать, что всякий сигнал, поступающий на вход приемника, как бы он ни был слаб, можно при помощи усиления на высокой, а затем на низкой частоте довести до требуемого уровня.

Возможность приема слабых сигналов прежде всего ограничивается атмосферными помехами: если уровень полезного сигнала не превышает заметно уровня атмосферных помех, то никакое усиление не даст возможности вести прием, так как помехи будут усиливаться наравне с полезным сигналом.

В случае отсутствия атмосферных помех возможность приема слабых сигналов ограничивается наличием собственных шумов у приемника. Происхождение этих шумов таково. Анодный ток лампы, представляя собой движение свободных электронов, не является величиной строго постоянной; хотя в среднем за большие промежутки времени на анод поступает всегда одинаковое количество электронов, за малые промежутки времени число поступающих на анод электронов может немного отклоняться от среднего в ту или другую сторону. Эти нерегулярные отклонения от среднего значения, которые происходят во всяком процессе, состоящем из большого числа независимых единичных процессов, носит название флуктуаций. В случае анодного тока единичный процесс — это пролет отдельного электрона с катода на анод, а флуктуации состоят в том, что число электронов, попадающих на анод за отдельные промежутки времени, не является постоянным, а колеблется около среднего значения. Вследствие флуктуаций анодный ток всегда

несколько пульсирует — сила его все время быстро и нерегулярно изменяется в некоторых небольших пределах. Пульсации анодного тока, будучи усилены последующими каскадами, создают на выходе приемника характерный шум (это явление называется дробовым эффектом). Если уровень сигнала ниже уровня этих нерегулярных пульсаций анодного тока, то после усиления передача будет «забита» шумом дробового эффекта.

Аналогичное явление получается также вследствие так называемых тепловых флуктуаций. Во всяком проводнике всегда существует беспорядочное (тепловое) движение электронов. В среднем одинаковое число электронов движется в ту и другую сторону (если по проводнику не течет ток), и поэтому тепловое движение электронов в среднем не дает тока в проводнике. Но вследствие флуктуаций число электронов, проходящих через сечение проводника в ту или другую сторону, за короткие промежутки времени, может оказаться различным, и поэтому тепловое движение электронов создает в проводнике небольшие нерегулярные токи. Эти нерегулярные токи, будучи усилены в приемнике, создают на его выходе значительные колебания, которые вызывают шум в телефоне или громкоговорителе. Это так называемые тепловые шумы приемника. Если токи тепловых флуктуаций во входной цепи приемника сравнимы по величине с токами полезного сигнала, то и на выходе приемника (после усиления и тех и других) они также будут сравнимы между собой, и передача будет заглушена собственными шумами приемника.

Итак, увеличение числа ступеней высокой частоты становится после некоторого предела бесполезным. Кроме того, увеличение числа ступеней высокой частоты сопряжено с опасностью самовозбуждения приемника, т. е. возникновения в нем паразитных собственных колебаний, которые сильно искажают прием, а иногда делают его совсем невозможным.

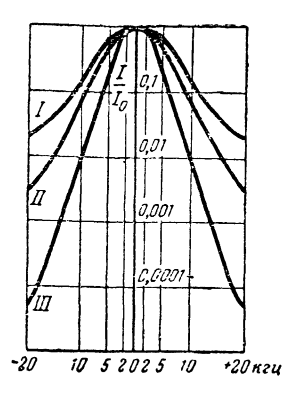
Поэтому в большинстве случаев ограничиваются применением в приемнике одной или двух ступеней усиления высокой частоты.

В задачу усилителя высокой частоты входит также и улучшение отстройки от мешающих станций, т. е. увеличение избирательности приемника.

Дело в том, что каждая ступень усиления высокой частоты снабжается настраивающимся колебательным контуром, и, следовательно, чем больше будет ступеней усиления

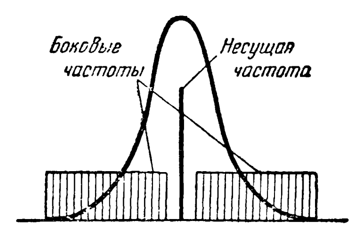
высокой частоты, тем острее суммарная кривая резонанса приемника в целом.

Если в радиоприемнике имеется несколько колебательных контуров, то его избирательность будет определяться результирующей кривой резонанса всех колебательных контуров, а результирующая кривая резонанса получается путем перемножения ординат резонансных кривых отдельных колебательных контуров, имеющихся в приемнике (фиг. 122). Поэтому, если, например, в первом контуре частоты, отстоящие от той, на которую он настроен на 10 000 *гц*, ослабляются по сравнению с резонансной в 2 раза, а во втором контуре те же частоты ослабляются еще в 3 раза, тогда общее ослабление этих частот по сравнению с резонансной будет равно 6.



Фиг. 122. Кривая избирательности приемника получается путем перемножения ординат кривых избирательности имеющихся в нем контуров.

I — резонансная кривая 1-го контура; *II* — резонансная кривая 2-го контура, *III* — общая кривая избирательности.



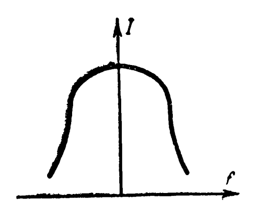
Фиг. 123. Приемник с очень острой настройкой пропускает не весь спектр частот сигнала. Далекие боковые частоты, соответствующие наиболее высоким передаваемым звукам, срезаются.

Стремясь к высокой избирательности приемника, нужно помнить, что чрезмерно высокая избирательность приводит к появлению частотных искажений. Объясняется это тем, что приемник с очень острой настройкой «отстраивается» даже от некоторой части боковых частот принимаемой станции, т. е. не пропускает полностью весь спектр частот модулированного сигнала (фиг. 123). Далекие боковые частоты, соответствующие высоким тонам, срезаются. Вследствие этого передаваемые звуки искажаются и приобретают «бочкообразный» характер.

Для того чтобы приемник хорошо пропускал боковые частоты и передача не приобрела «бочкообразного» оттен-

ка звучания, ослабление наиболее далеких боковых частот, содержащихся в передаваемом спектре, не должно превышать 4—5 раз. Вместе с тем желательно, чтобы ослабление частот, удаленных от несущей примерно на 9—10 *кгц*, было не меньше, чем в 15—20 раз, во избежание заметных помех со стороны соседних по частоте радиостанций.

Таким образом, наилучшим приемником в смысле избирательности будет тот, у которого кривая избирательности имеет плоскую верхушку и круто спадающие вниз ветви (фиг. 124). Такая кривая избирательности может быть получена лишь в приемниках супергетеродинного типа, в которых применяется большое число колебательных контуров.



Фиг. 124. Кривая избирательности должна иметь плоскую вершину и круто спадающие вниз ветви.

Высокая избирательность приемника не только устраняет помехи со стороны соседних по частоте станций, но и ослабляет влияние атмосферных радиопомех.

Атмосферные радиопомехи представляют собой непериодические электромагнитные возмущения, содержащие одновременно колебания широкого спектра частот. Поэтому радиопомеха воздействует одновременно на все приемники независимо от того, на какие частоты они настроены[1], и вместе с тем энергия от атмосферных помех, попадающая в каждый приемник, будет тем больше, чем шире спектр частот, который этот приемник пропускает. Иначе говоря, атмосферные помехи тем больше мешают, чем меньше избирательность приемника. В связи с этим желательно при приеме удаленных и слабых станций, по возможности, увеличивать избирательность приемника, несмотря на то, что приемник при этом будет пропускать не всю полосу частот принимаемой станции, а значит хуже воспроизводить передачу. С этой целью в некоторых приемниках предусматривается возможность изменения избирательности.

Очень часто случается, что при приеме дальней станции, несмотря на хорошую избирательность приемника, на вы-

[1] Это справедливо только, пока речь идет о настройке на различные частоты в пределах одного и того же диапазона. В различных диапазонах интенсивность атмосферных помех неодинакова. На коротких волнах атмосферные помехи значительно меньше, чем на средних и длинных, а на ультракоротких волнах уровень атмосферных помех совсем низок.

ходе отчетливо прослушивается передача местной станции, работающей не на той частоте, на которую настроен приемник. Происходит это вследствие так называемой перекрестной модуляции.

Явление перекрестной модуляции происходит из-за криволинейности рабочего участка характеристики первой лампы усиления высокой частоты. Если контур, стоящий перед этой лампой, не дает достаточной отстройки от местной станции, то сигналы местной станции попадают на сетку первой лампы и в ней (вследствие непрямолинейности ее характеристики) происходит модуляция слабого принимаемого сигнала сигналом местной станции. Таким образом, после первой лампы высокой частоты несущая частота принимаемой станции оказывается промодулированной сразу двумя звуковыми передачами—принимаемой и мешающей. Поэтому последующие колебательные контуры, сколько бы их ни было и какова бы ни была их избирательность, не могут устранить мешающей передачи.

Таким образом, явление перекрестной модуляции как бы ухудшает избирательность приемника. Меры борьбы против перекрестной модуляции ясны из рассмотрения причин, ее порождающих. Это, во-первых, правильный выбор рабочей точки для лампы усиления высокой частоты (рабочая точка должна лежать на прямолинейном участке характеристики) и, во-вторых, достаточная избирательность первого контура.

Соотношение между слышимостью принимаемой и мешающей станций существенно зависит также от свойств детектора. Всякий детектор обладает тем свойством, что при одновременном детектировании сильного и слабого сигналов слабый сигнал детектируется значительно хуже, чем сильный. Таким образом, в детекторе слабый сигнал как бы подавляется сильным. Этот эффект подавления слабого сигнала сильным будет увеличивать общую избирательность приемника, если перед детекторной лампой при помощи колебательных контуров обеспечено превосходство величины принимаемого сигнала над мешающим.

Из всего сказанного выше следует:

1. Если приемник совсем не принимает дальних станций, а местные станции принимаются достаточно громко, то необходимо развить высокочастотную часть приемника.

2. Если передача дальних станций принимается без помех, но недостаточно громко, необходимо развить низкочастотную часть приемника.

3. Если дальние станции принимаются громко, без атмосферных помех, но прием сопровождается сильным собственным шумом приемника (наиболее редкий случай), необходимо увеличить приемную антенну, чтобы повысить уровень сигнала по отношению к уровню собственных шумов приемника.

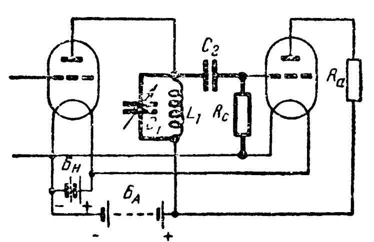
4. Если прием даже местных станций сопровождается атмосферными помехами, лучше уменьшить усиление по высокой частоте.

5. Если передача местной станции прослушивается при приеме дальних станций, необходимо увеличить число контуров на входе усилителя высокой частоты до двух и проверить правильность режима лампы первой ступени усилителя высокой частоты.

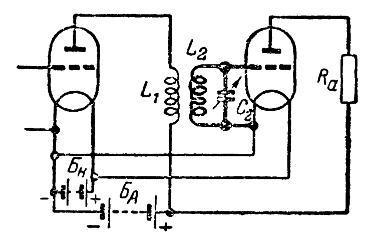
6. Если атмосферные помехи мешают приему дальних станций, нужно повысить избирательность приемника путем добавления ступени усиления высокой частоты или колебательного контура на входе приемника.

26. УСИЛИТЕЛЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Для усиления высокой частоты применяются усилители, в которых в качестве анодной нагрузки служат колебательные контуры, настроенные на частоту усиливаемых коле-



Фиг. 125. Резонансный усилитель высокой частоты. Анодной нагрузкой служит колебательный контур, включенный в анодную цепь лампы.



Фиг. 126. Вторичная обмотка трансформатора в резонансном усилителе настраивается конденсатором на частоту принимаемой станции.

баний (фиг. 125), и которые поэтому называются резонансными усилителями.

К числу резонансных усилителей относятся также усилители с трансформаторной связью (фиг. 126), в которых одна, а иногда и обе обмотки трансформатора высокой частоты с помощью емкостей настраиваются на частоту усиливаемых колебаний. Этот тип усилителей высокой частоты

называют усилителями с трансформаторной связью или усилителями с настроенными трансформаторами высокой частоты.

Как известно, при резонансе колебательный контур, составленный из соединенных параллельно емкости и индуктивности, представляет собой очень большое сопротивление для токов той частоты, на которую он настроен.

Таким образом, при непосредственном включении колебательного контура в анодную цепь (фиг. 125) этот контур представляет собой большое сопротивление для тех токов, которые должны быть усилены, а это, как мы знаем, есть основное условие получения большого усиления.

Напряжения, получающиеся на зажимах анодного контура, так же как и в случае усиления на сопротивлениях, передаются через переходный конденсатор постоянной емкости C_2 на сетку следующей лампы. Для того чтобы дать возможность электронам, попадающим на сетку этой лампы, уйти с нее, между сеткой и катодом включается утечка сетки R_c.

В схемах резонансного усиления на трансформаторах при помощи переменного конденсатора настраивается одна из обмоток междулампового трансформатора. На фиг. 126 приведена схема, в которой при помощи переменного конденсатора C_2 настраивается на частоту принимаемых сигналов индуктивность L_2, т. е. вторичная обмотка трансформатора. Так как обе обмотки достаточно сильно связаны между собой, то сопротивление вторичной обмотки определяет сопротивление первичной и первичная обмотка обладает наибольшим сопротивлением именно для тех частот, на которую настроена вторичная. В качестве обмоток настроенного трансформатора обычно применяются нормальные катушки индуктивности цилиндрического, сотового или какого-либо другого типа. Число витков катушки определяется из условия, что вместе с переменным конденсатором C_2 она должна перекрывать определенный участок волн радиовещательного диапазона. Для перекрытия всего радиовещательного диапазона могут быть применены катушки, разделенные на секции. При определении числа секций постоянной катушки нужно иметь в виду, что в этом случае к переменному конденсатору не прибавляется постоянная емкость антенны (что имеет место в колебательном контуре, присоединенном к антенне) и поэтому переменный конденсатор перекрывает больший участок диапазона, чем в приемных контурах, присоединяемых к антенне.

Одно из основных достоинств резонансной схемы заключается в возможности получения значительно бо́льших усилений, чем может дать схема усиления на сопротивлениях, особенно в более коротковолновой части радиовещательного диапазона.

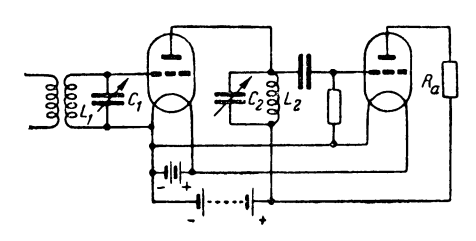
Другое преимущество резонансного усиления заключается в повышении избирательности приемного устройства. Обусловливается это тем, что колебательный контур, настроенный на определенную частоту, представляет собой большое сопротивление для этой частоты и сравнительно малое сопротивление для тех частот, на которые он не настроен. Следовательно, лампа, включенная по схеме резонансного усиления, будет хорошо усиливать те колебания, на частоту которых настроен анодный контур или трансформатор, и не будет усиливать тех колебаний, частота которых отличается от частоты контура. Благодаря этому при резонансном усилении достигается большая острота настройки, которая будет особенно велика в случае применения не одного, а двух или нескольких ступеней резонансного усиления. Таким образом, основными достоинствами схем резонансного усиления являются высокая чувствительность и большая острота настройки, т. е. те два основных качества, которыми главным образом оценивается достоинство приемника.

Однако эти достоинства приобретаются за счет усложнения не только конструкции, но и способа настройки приемника вследствие увеличения числа настраивающихся контуров. Даже в случае одной ступени резонансного усиления на высокой частоте приемник содержит уже два настраивающихся контура—в антенне (приемный контур) и в анодной цепи резонансного усилителя. Для приема той или иной станции оба эти контура должны быть настроены на соответствующую частоту. Необходимость настройки двух контуров весьма усложняет управление приемником с резонансным усилением.

Для приема далеких слабо слышимых станций недостаточно одной ступени резонансного усиления высокой частоты. В этом случае приходится применять две ступени усиления высокой частоты. Так как каждая из ступеней имеет настраивающийся контур, то увеличение числа ступеней усиления связано с увеличением числа элементов настройки, т. е. с ее усложнением. При двух ступенях резонансного усиления приемник должен иметь не менее трех настраивающихся контуров (в антенне и в анодных цепях первой

и второй ламп). Настройка трех контуров на одну и ту же волну представляет уже значительные трудности. Для устранения трудностей в управлении приемником, обусловленных наличием многих контуров и необходимостью иметь возможность точно настраивать их на принимаемую частоту, сейчас широко применяется объединение нескольких (двух-трех) переменных конденсаторов на одной оси с общей рукояткой.

Одной из неприятных особенностей усилителей высокой частоты с настроенными контурами является возможность возникновения собственных колебаний в контурах усилителя. Рассмотрим кратко причины возникновения собственных колебаний в резонасных усилителях и методы устранения этих колебаний.

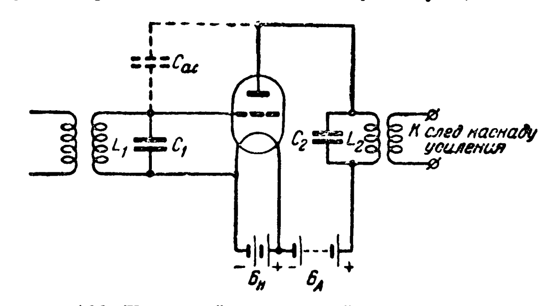


Фиг. 127. При наличии обратной связи между контурами L_1C_1 и L_2C_2 в усилителе могут возникнуть собственные колебания.

Возможность возникновения колебаний в контурах резонансного усилителя обусловливается двумя причинами: во-первых, присутствием колебательных контуров в цепях сетки и анода лампы и, во-вторых, наличием связи между этими контурами. Все виды связи между цепями анода и сетки, т. е. связи, вследствие которой напряжения и токи в цепи анода так или иначе воздействуют на сетку той же лампы, принято называть обратной связью. Связь между колебательными контурами, включенными в цепь сетки и в цепь анода, представляют собой, следовательно, один из случаев обратной связи. Если бы между контурами L_1C_1 и L_2C_2 резонансного усилителя (фиг. 127) не существовало никакой связи, то собственные колебания в контурах усилителя вообще не могли бы возникнуть. В случае же наличия обратной связи между контурами в цепи сетки и в цепи анода в резонансном усилителе могут возникать собственные колебания. Следовательно, задача устранения собственных колебаний в резонансном усилителе сводится к устранению связи между колебательными контурами, включенными в сетку и анод усилительной лампы. Если бы удалось эти связи полностью устранить, то собственные колебания в усилителе не возникали бы.

Какие же связи могут существовать между контурами L_1C_1 и L_2C_2? Прежде всего контуры могут быть связаны между собой через усилительную лампу. Так как электроды лампы как и всякие проводники обладают некоторой взаимной емкостью (так называемой междуэлектродной емкостью), то колебательные контуры, присоединенные к сетке и аноду лампы, неизбежно оказываются связанными между собой через междуэлектродную емкость (через емкость сетка — анод).

Для рассмотрения роли этой емкости можно считать, что междуэлектродная емкость отсутствует, но что зато



Фиг. 128. Причиной паразитной обратной связи может быть междуэлектродная емкость лампы.

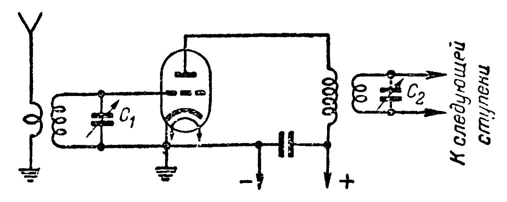
между сеткой и анодом лампы включена дополнительная емкость C_{ac} (на фиг. 128 указана пунктиром), действие которой будет такое же, как и действие междуэлектродной емкости между сеткой и анодом. Эта емкостная обратная связь между сеткой и анодом лампы может быть причиной возникновения собственных колебаний, если емкость C_{ac} достаточно велика. Поэтому междуэлектродные емкости лампы могут быть причиной возникновения паразитных колебаний в резонансных усилителях высокой частоты. Для устранения этой опасности необходимо емкость между сеткой и анодом лампы сделать очень малой. Однако в обычном триоде эта емкость не может быть значительно уменьшена. В экранированных же лампах эту емкость удается сделать очень малой. В этом заключается одно из основных преимуществ применения экранированных ламп для усиления высокой частоты.

Как уже было указано (в § 11), экранированная лампа отличается от триода наличием второй сетки, помещенной между анодом и обычной управляющей сеткой.

Эта экранная сетка «перехватывает» силовые линии электрического поля между анодом и управляющей сеткой и уменьшает, таким образом, паразитную емкость между анодной и сеточной цепями лампы.

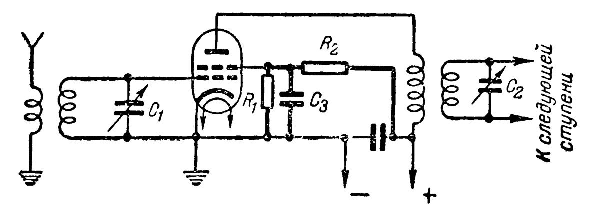
Для того чтобы экранная сетка выполняла функции электростатического экрана между анодом и управляющей сеткой, ее необходимо заземлять.

Однако, если заземлить экранную сетку непосредственно, т. е. просто соединить ее накоротко с землей, то она «перехватит» и силовые линии постоянного поля анода, т. е. ускоряющее поле анода не будет достигать катода, и поэтому анодный ток через лампу прекратится.



Фиг. 129. Усилитель высокой частоты на трехэлектродной лампе.

Чтобы создать у катода постоянное ускоряющее поле, на экранную сетку подают тем или иным способом постоянное положительное напряжение (от $^1/_2$ до $^2/_3$ анодного напряже-



Фиг. 130. Усилитель высокой частоты на экранированной лампе.

ния), а заземляют ее только для переменного тока высокой частоты через конденсатор.

Таким образом, применение экранированной лампы в усилителе высокой частоты в принципе ничем не отличается от применения триода. Различие в схеме сводится только к наличию цепи, питающей экранную сетку постоянным напряжением и заземляющей ее для токов высокой частоты.

На фиг. 129 изображена схема ступени усиления высокой частоты на триоде, а на фиг. 130 — та же самая схема, но с использованием экранированной лампы. Новыми цепями по сравнению с предыдущей схемой являются цепи,

включающие в себя сопротивления R_1 и R_2 и конденсатор C_3. Эти цепи выделены на схеме жирными линиями.

Сопротивления R_1 и R_2 образуют потенциометр, при помощи которого часть постоянного анодного напряжения подается на экранную сетку. Конденсатор C_3 служит для заземления экранной сетки по высокой частоте.

Помимо междуэлектродной емкости паразитная связь между контурами сетки и анода может возникать и по другим причинам. Эти причины таковы: наличие непосредственного взаимного электрического и магнитного влияния между контурами или соединительными проводами; связь через источники питания — главным образом через анодную батарею (или выпрямитель), через которую, если не принято специальных мер, проходят токи высокой частоты обеих ступеней усилителя, и эти токи могут влиять друг на друга. Для устранения взаимного влияния между контурами и проводами их располагают возможно дальше друг от друга и закрывают отдельными металлическими экранами. Наконец, применяют и общий металлический экран для всего усилителя, чтобы устранить влияние на вход приемника получающихся на выходе усиленных колебаний.

Для устранения влияния через анодную батарею (выпрямитель) ее шунтируют конденсатором, образующим параллельный путь для токов высокой частоты.

Все эти меры, если они тщательно выполнены, позволяют устранить паразитные колебания в одноламповом и двухламповом резонансных усилителях. Однако, чем больше число ступеней усиления, тем сильнее колебания на выходе усилителя по сравнению с колебаниями на его входе и тем сильнее сказывается влияние выходной цепи на входную. Даже при очень слабых связях между входом и выходом, если усиление, даваемое усилителем, велико, неизбежно возникают паразитные колебания. Этим и ограничивается то наибольшее общее усиление, которое может быть получено от усилителя высокой частоты. Поэтому применять более чем три ступени резонансного усиления высокой частоты практически нецелесообразно. Наибольшее усиление, которое можно получить от усилителя высокой частоты, на разных частотах оказывается различным. Чем выше частота усиливаемых колебаний, тем бóльшую роль играют все паразитные связи и тем легче возникают собственные колебания, а значит тем меньше то усиление, которое может дать усилитель без возникновения паразитных колебаний.

Заметим кстати, что даже в усилителях низкой частоты по тем же причинам не удается получить сколько угодно большое общее усиление. Однако, так как эти причины в усилителях низкой частоты влияют гораздо слабее, на низкой частоте возможно получить большее общее усиление, чем в усилителях высокой частоты.

Помимо того, что наибольшее усиление, которое может быть получено от резонансного усилителя высокой частоты, зависит от частоты, фактическое усиление, даваемое таким усилителем, также обычно зависит от частоты. Причина этого лежит в том, что при изменении настройки контуров их резонансные свойства также изменяются. При неизменной индуктивности затухание контура зависит не только от величины сопротивления, но и от величины емкости и возрастает с увеличением последней. Поэтому по мере увеличения емкости переменного конденсатора (т. е. перехода к более длинным волнам), резонансные свойства контура ухудшаются. С другой стороны, резонансный контур работает на нагрузку, которой является входное сопротивление следующей лампы. Вместе с тем и внутреннее сопротивление лампы, в анод которой включен контур, является нагрузкой для этого контура. Эти нагрузки ухудшают резонансные свойства контура. Так как величина этих нагрузок зависит также от частоты, то в конечном счете усиление, даваемое резонансным усилителем, сложным образом зависит от частоты, на которую усилитель настроен. Иначе говоря, частотная характеристика резонансного усилителя[1] далека от горизонтальной прямой. Резонансные усилители стремятся конструировать таким образом, чтобы их частотная характеристика была возможно выше и ближе к горизонтальной в наиболее употребительной средней части диапазона, и мирятся с тем, что по краям диапазона она спадает (т. е. усиление уменьшается).

Применение экранов как для отдельных контуров резонансного усилителя, так и для всего усилителя в целом полезно не только для уменьшения паразитных связей между отдельными ступенями усиления, но и для устранения внешних влияний, к которым резонансные усилители весьма чувствительны. Эта чувствительность, являющаяся также характерной особенностью резонансных усилителей,

---

[1] Когда говорят о частотной характеристике резонансного усилителя, то подразумевается, что при изменении частоты усиливаемых колебаний колебательные контуры резонансного усилителя каждый раз настраиваются на частоту усиливаемых колебачий.

обусловлена следующими причинами. Если, например, около конденсатора переменной емкости перемещается какой-либо проводник, то емкость конденсатора из-за влияния этого проводника несколько изменяется. В частности, и движение рук оператора влияет на емкость конденсатора и изменяет настройку контура усилителя. При очень высокой избирательности резонансных усилителей эти изменения могут сказаться на силе сигнала.

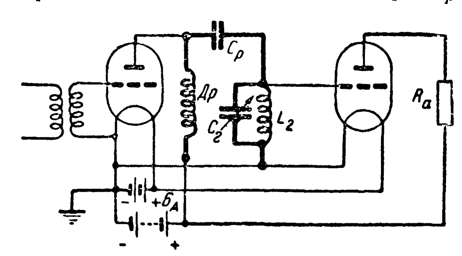
Экраны устраняют влияние внешних проводников на контуры усилителя, следовательно, устраняют и «влияние руки» оператора. Но они действуют так только в случае, когда контуры целиком заключены в экраны. Между тем для настройки контуров необходимо выводить наружу хотя бы оси переменных конденсаторов.

При этом, если ось соединена электрически с экраном, она как бы является его продолжением, и экран действует попрежнему. Если же выведенная наружу ось не соединена с экраном, то начинает сказываться влияние внешних проводников на емкость конденсатора, со всеми вытекающими из этого последствиями. Поэтому ось, а следовательно, и подвижные пластины переменного конденсатора следует соединять с экраном, который, в свою очередь, должен быть заземлен (соединен с катодами ламп, которые обычно соединяются с землей).

Помимо того, если конденсатор не может быть присоединен подвижными пластинами к экрану, то и крепление его на шасси или панели усилителя требует специальной изоляции. Наконец, соединение подвижных пластин с экраном облегчает объединение нескольких переменных конденсаторов на одной оси, так как их оси соединены с экранами и потому они могут быть связаны между собой металлическими, а не изоляционными соединениями.

Все эти преимущества столь существенны, что почти всегда применяют конденсаторы с заземленными подвижными пластинами. Если выбранная схема непосредственно не позволяет этого сделать (например, в схеме фиг. 125 пластины конденсатора присоединены к плюсу высокого напряжения и, значит, их нельзя заземлять), ее видоизменяют, применяя так называемое «параллельное питание». Это видоизменение принципиально может быть сделано в любом усилителе, но чаще всего встречается в резонансных усилителях высокой частоты (и в генераторных схемах). Состоит это видоизменение в том, что к аноду лампы присоединяется не одна цепь, как обычно, а две параллельные

цепи (фиг. 131). Одна из этих параллельных цепей служит для питания анода лампы постоянным током от анодной батареи через дроссель *Др* (отсюда и пошло название «параллельное питание»), а другая представляет путь для токов высокой частоты и содержит анодную нагрузку, на которой выделяется усиленное переменное напряжение. В схеме фиг. 131 этой нагрузкой служит колебательный контур $L_2 C_2$. Для того чтобы высокое напряжение анодной батареи не замкнулось через катушку L_2, между контуром и анодом лампы ставится разделительный конденсатор C_p, преграждающий путь постоянному току. С другой стороны, чтобы переменный ток высокой частоты не замкнулся через источник питания анода, в цепь включен последовательно высокочастотный дроссель *Др*, преграждающий путь токам высокой частоты. Таким образом, в схеме параллельного питания постоянная и переменная составляющие анодного тока разделены и проходят по разным цепям.

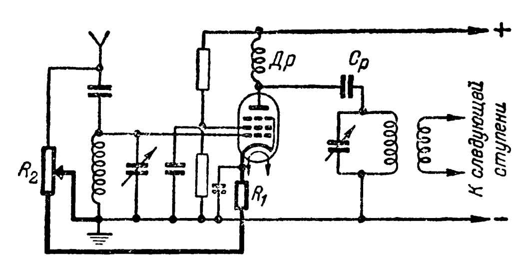


Фиг. 131. Схема с параллельным питанием анода.

Помимо того, что одна из обкладок переменного конденсатора соединена непосредственно с землей (что именно и требовалось), эта схема обладает еще одним преимуществом: переменная составляющая тока не попадает в цепи анодного питания, общие для всех ламп, и поэтому уменьшается опасность паразитных связей и воздействия одних каскадов на другие. Вообще токи высокой частоты, после того как они прошли через анодную нагрузку, следует во избежание паразитных влияний направлять по кратчайшему пути к катоду.

При рассмотрении схем усилителей высокой частоты мы для простоты полагали, что в них применяются трехэлектродные или четырехэлектродные лампы. Однако в настоящее время в усилителях высокой частоты применяются исключительно многоэлектродные лампы, чаще всего пентоды. Кроме малой междуэлектродной емкости (между анодом и управляющей сеткой), которой обладает и экранированная лампа, пентод отличается еще одним положительным качеством — большим внутренним сопротивлением.

Большое внутреннее сопротивление лампы очень важно при резонансном усилении высокой частоты. В резонансных усилителях внутреннее сопротивление электронной лампы оказывается включенным параллельно анодному колебательному контуру. Как уже указывалось, при этом внутреннее сопротивление лампы шунтирует колебательный контур, являясь нагрузкой для него, и ухудшает резонансные свойства контура. Для повышения резонансных свойств колебательных контуров, т. е. повышения избирательности приемника, необходимо, чтобы внутреннее со-



Фиг. 132. Усилитель высокой частоты на пентоде.

противление лампы, шунтирующее колебательный контур, было достаточно велико. Этому требованию лучше всего и удовлетворяет пентод.

Рассматривая многоэлектродные лампы (§ 11), мы уже отмечали, что многие пентоды, предназначенные для усиления высокой частоты, имеют вытянутую характеристику с переменной крутизной, позволяющую осуществить регулировку усиления, даваемого усилителем высокой частоты.

На фиг. 132 изображена схема высокочастотной ступени приемника прямого усиления на таком пентоде с параллельным питанием и с регулировкой усиления.

Цепь, служащая для регулировки усиления, выделена на этой фигуре жирной линией. Осуществляется эта регулировка следующим образом.

При движении ползунка переменного сопротивления R_2 вверх, во-первых, уменьшается величина сопротивления той части R_2, которая шунтирует приемный колебательный контур, а, во-вторых, возрастает величина сопротивления цепи, состоящей из последовательно включенных сопротивлений R_1 и R_2 и служащей для задания автоматического смещения» на управляющую сетку пентода. И то и другое влечет за собой уменьшение силы сигналов на вы-

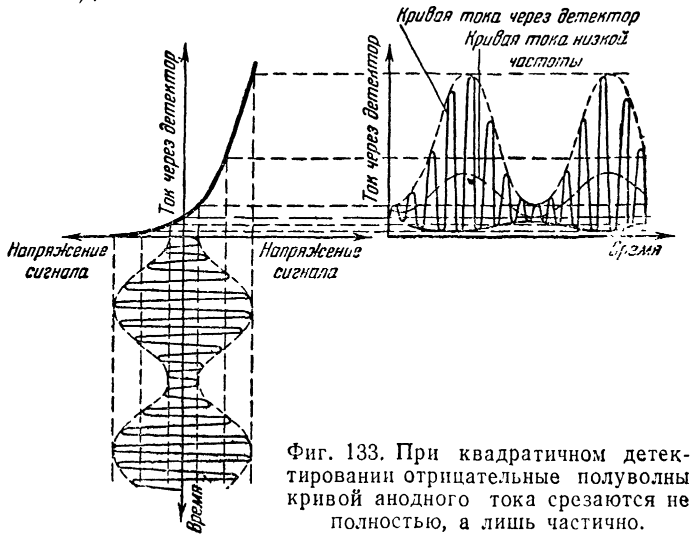
ходе усилителя, так как, во-первых, ухудшаются резонансные свойства колебательного контура, а, во-вторых, увеличивается отрицательное смещение на сетке лампы, вследствие чего рабочая точка перемещается на участок с меньшей крутизной, и уменьшается даваемое лампой усиление. На этом мы закончим рассмотрение усилителей высокой частоты.

27. ЛАМПОВЫЙ ДЕТЕКТОР ДИОДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Любая приемная электронная лампа может быть поставлена в такой режим, при котором она обладает несимметричной проводимостью и поэтому она может быть использована для детектирования.

Существуют два вида (или класса) детектирования при помощи лампы:

1) детектирование без отсечки («квадратичное» детектирование);



Фиг. 133. При квадратичном детектировании отрицательные полуволны кривой анодного тока срезаются не полностью, а лишь частично.

2) детектирование с отсечкой («линейное» или «мощное» детектирование).

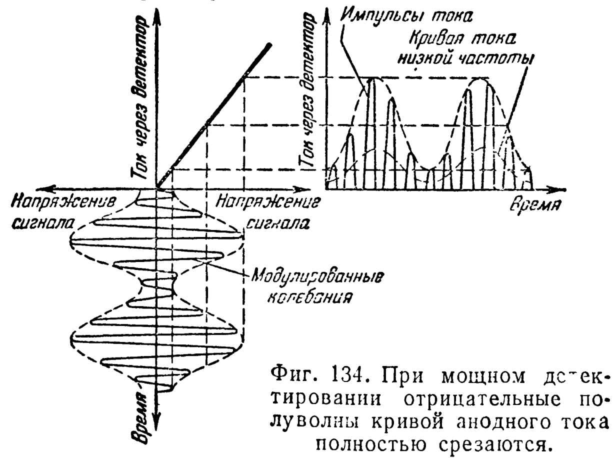
Детектированием без отсечки или квадратичным детектированием называется такое искажение формы кривой тока, когда отрицательные полуволны кривой срезаются детектором не полностью, а лишь частично (фиг. 133).

Примером такого детектора может служить трехэлектродная лампа, если рабочая точка ее установлена на ниж-

нем или верхнем изгибе анодно-сеточной характеристики.

Детектирование без отсечки называется «квадратичным», потому что сила тока, даваемого таким детектором, пропорциональна квадрату подводимого к нему напряжения.

Квадратичный детектор работает лучше всего тогда, когда рабочая точка находится на участке характеристики с наибольшей кривизной, т. е. на участке, где кругизна характеристики изменяется наиболее резко (например, на нижнем изгибе характеристики).



Фиг. 134. При мощном детектировании отрицательные полуволны кривой анодного тока полностью срезаются.

Квадратичное детектирование может быть осуществлено как на криволинейном участке характеристики анодного тока (так называемое нормальное анодное детектирование), так и на криволинейном участке характеристики сеточного тока (так называемое нормальное сеточное детектирование).

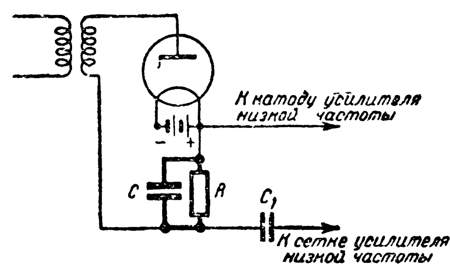
Детектированием с отсечкой или мощным детектированием называется такой вид детектирования, когда практически можно считать, что ток через детектор проходит только в одном направлении, т. е. нижние половины кривой тока отсекаются полностью (фиг. 134).

Такое детектирование называется линейным потому, что сила тока, даваемого детектором, в этом случае приблизительно пропорциональна приложенному к детектору напряжению.

Название «мощное детектирование» произошло оттого, что такое детектирование можно осуществить только при

достаточно сильных (мощных) сигналах. И в самом деле, только в случае, если подводимые к детектору напряжения выходят далеко за область нижнего изгиба характеристики, практически можно пренебречь наличием этого изгиба и считать характеристику с самого начала прямолинейной, а нижние половины кривых тока — полностью срезанными. Поэтому детектирование с отсечкой осуществимо лишь в тех приемниках, в которых до детектора имеется большое усиление высокой или промежуточной частоты. Преимуществом линейного детектора является то, что он вносит меньше искажений, чем квадратичный детектор.

Линейное детектирование можно осуществить либо за счет характеристики анодного тока (анодное мощное детектирование), либо за счет характеристики сеточного тока (сеточное мощное детектирование), либо, наконец, за счет характеристики тока диода (диодное детектирование).



Фиг. 135. Схема диодного детектора.

Рассмотрение различных видов детектирования мы начнем с диодного детектирования, как наиболее простого.

Характеристика диода, с которой мы уже знакомы (фиг. 6), в начальной точке, т. е. при отсутствии постоянного напряжения на аноде (точка O на фиг. 6), близка к характеристике идеального детектора. В самом деле, в этой точке диод обладает односторонней проводимостью. Поэтому, если к аноду и катоду диода подвести напряжение высокой частоты (фиг. 135), то в цепи диода мы получим ту же картину, как в случае детектирования с помощью идеального детектора. В цепи диода будут получаться импульсы одного направления и средняя сила тока, соответствующая этим импульсам, будет изменяться в соответствии с изменениями амплитуды модулированных колебаний. Иначе говоря, в цепи диода появится помимо постоянного тока и колебаний высокой частоты переменный ток низкой частоты, по форме соответствующий закону модуляции. Этот переменный ток будет создавать падение напряжения на сопротивлении R (величина этого сопротивления обычно выбирается порядка десятков тысяч ом) и с этого сопротивления напряжение низкой ча-

стоты может быть снято для дальнейшего усиления в усилителе низкой частоты. Чтобы постоянное напряжение на сопротивлении R, обусловленное постоянной составляющей тока в цепи диода, не попадало на сетку лампы низкой частоты, на пути ставится переходный конденсатор C_1. С другой стороны, для того чтобы напряжение высокой частоты, которое должно быть подведено к диоду, не испытывало падения на сопротивлении R, параллельно с этим последним включен конденсатор C, открывающий путь токам высокой частоты, но представляющий большое сопротивление для токов низкой частоты (назначение этого конденсатора и требования, к нему предъявляемые, совершенно те же, что и к блокировочному конденсатору в цепи детекторного приемника).

Диодное детектирование дает малые нелинейные искажения по сравнению с нормальным сеточным и анодным детектированием. Однако диодный детектор малочувствителен — он хорошо детектирует только достаточно большие напряжения и поэтому требует большого усиления сигнала до детектора. Вследствие этого диодное детектирование применяется почти исключительно в супергетеродинных приемниках, где до детектора осуществляется очень большое усиление сигнала по промежуточной частоте.

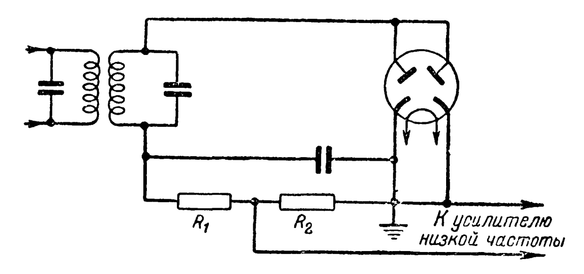
Чувствительность диодного детектора тем больше, чем больше разница в сопротивлении в обе стороны от рабочей точки, иначе говоря, чем быстрее возрастает ток при увеличении положительных напряжений на аноде. Поэтому диод должен давать возможно больший ток при малых напряжениях на аноде. Это достигается тем, что анод диода располагают возможно ближе к катоду. Такие миниатюрные детекторные диоды выпускаются нашей промышленностью. Чаще всего они выполняются в виде двойных диодов, т. е. двух диодов в одном баллоне Такие двойные диоды удобны для некоторых специальных схем. В обычных же схемах диодного детектирования, если второй диод не используется для какой-либо иной цели, например для регулировки усиления, оба анода соединяются вместе и диоды работают параллельно.

Простейшая схема использования двойного диода в детекторном каскаде приведена на фиг. 136.

В этой схеме оба анода и оба катода соединены параллельно, так что лампа работает как один диод.

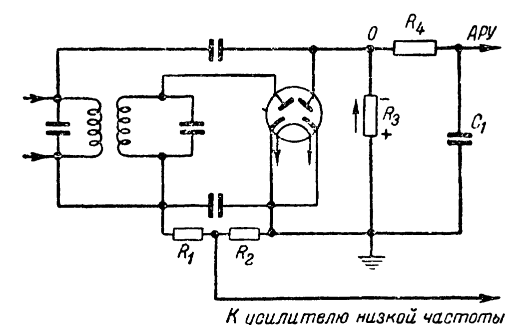
Напряжение звуковой частоты снимается не со всего сопротивления, включенного в цепь диода, а с части его

и подается затем на вход усилителя низкой частоты. Сопротивление R_1 позволяет (путем изменения его величины) изменять режим диода и вместе с тем преграждает путь токам высокой частоты на сетку лампы низкой частоты (сопротивление R_1 часто может отсутствовать).



Фиг. 136. Простейшая схема включения двойного диода.

На фиг. 137 изображена схема, в которой двойной диод выполняет одновременно две функции — детектирование и автоматическую регулировку усиления. В качестве детектора здесь работает левый диод. Схема детектирования ничем не отличается от предыдущей (фиг. 136).



Фиг. 137. Двойной диод выполняет две функции — детектирование и автоматическую регулировку усиления.

Рассмотрим попутно принцип автоматической регулировки усиления (АРУ). Регулировка усиления осуществляется путем подачи постоянного смещения на сетки ламп (или лампы) усиления высокой частоты, имеющей характеристику с переменной крутизной. Чем больше отрицательное смещение на сетке такой лампы, тем меньше кру-

тизна характеристики в рабочей точке и тем меньше даваемое лампой усиление.

Напряжение смещения, служащее для АРУ (для чего оно подается на сетки ламп предыдущих ступеней усиления), создается правым диодом и снимается с сопротивления R_3.

Цепь из сопротивления R_4 и конденсатора C_1 служит для сглаживания пульсаций звуковой частоты, получающихся вследствие того, что детектируются модулированные колебания. Сопротивление R_4 препятствует быстрому заряду и разряду конденсатора C_1, и напряжение на этом конденсаторе не успевает следовать за изменениями амплитуды модулированного колебания. Для этого величины R_4 и C_1 выбираются так, чтобы произведение R_4C_1, т. е. временная постоянная цепи была больше самого большого из периодов модуляции, т. е. самого низкого передаваемого тона. В результате напряжения на конденсаторе C_1 будет уже не пульсирующим, а постоянным. Величина этого напряжения будет тем больше, чем больше сила детектируемого сигнала. При этом оно будет успевать изменяться в соответствии с медленными изменениями силы принимаемых сигналов. Таким образом, чем больше сила сигнала, тем больше и величина отрицательного смещения на сетках ламп предыдущих каскадов. Следовательно, усиление при сильных сигналах будет невелико, а при слабых сигналах, наоборот, усиление будет наибольшим.

Благодаря этому уровень звука на выходе будет изменяться в гораздо меньшей степени, чем уровень сигнала на входе приемника.

28. СЕТОЧНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

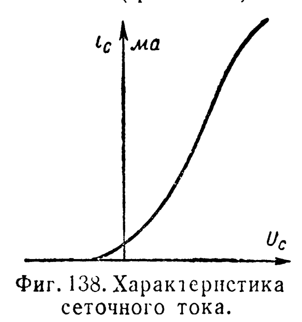
Особенно часто применяется сеточное детектирование, так как оно обладает целым рядом преимуществ по сравнению с другими методами детектирования. Сеточное детектирование основано на использовании несимметричной проводимости участка сетка — катод электронной лампы.

Как мы уже знаем, некоторая часть электронов, пролетающих мимо сетки от катода к аноду электронной лампы, при известных условиях может попадать на провода сетки и через цепь сетки снова возвращаться на нить; в результате этого в цепи сетки возникнет электрический ток. При этом во внешней цепи электроны будут двигаться всегда только от сетки к нити, и, следовательно, в этой цепи мо-

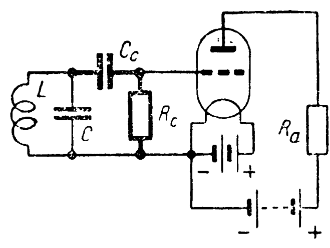
жет существовать ток только одного направления — от нити к сетке.

Условия для возникновения сеточного тока указаны были ранее: ток в цепи сетки может появляться только при наличии положительных напряжений на ней. Однако это не совсем точно. Дело в том, что электроны, вылетающие из катода, обладают некоторой начальной скоростью, т. е. некоторым запасом энергии. Этот запас энергии позволяет им преодолеть отталкивающее действие сетки даже в том случае, когда сетка находится под отрицательным напряжением при условии, что это напряжение невелико. Если отрицательное напряжение на сетке велико, то электроны не смогут преодолеть его тормозящего действия и на провода сетки действительно попадать не будут. В случае же, если к сетке подведено небольшое отрицательное напряжение (порядка десятых долей вольта), часть электронов, вылетающих из катода, будет попадать на провода сетки и в ее цепи будет существовать некоторый ток. Величина этого тока будет тем больше, чем больше окажется электронов, которые в состоянии будут преодолеть отталкивающее действие отрицательного напряжения на сетке, т. е. чем больше будет электронов, обладающих достаточно большими начальными скоростями при вылете из катода. Скорость, с которой вылетают электроны из катода, зависит от его температуры. Конечно, не все электроны вылетают из катода с одинаковой скоростью. Среди них есть и более медленные и более быстрые. Но каждой определенной температуре соответствует некоторая определенная средняя скорость вылета электронов. Это значит, что бо́льшая часть электронов будет вылетать из катода со скоростями, близкими к средней скорости, но небольшая часть электронов будет обладать скоростью, большей или меньшей, чем средняя. Поэтому при небольших отрицательных напряжениях на сетке всегда найдется некоторое количество достаточно быстрых электронов, которые смогут попасть на провода сетки. При этом, чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем больше должны быть скорости электронов для того, чтобы они могли попасть на сетку. Но число электронов, обладающих скоростью, превосходящей определенное значение, будет тем меньше, чем больше эта скорость. Следовательно, при увеличении отрицательного напряжения на сетке число электронов, попадающих на провода сетки, а вместе с тем и ток в цепи сетки будут уменьшаться, пока, в кон-

це концов, не прекратится совсем. Это произойдет тогда, когда скорости, необходимые для того, чтобы электрон попал на сетку, станут настолько велики, что среди вылетающих из катода электронов почти не будет встречаться таких, которые бы обладали этой скоростью. Из сказанного ясно, что ток в цепи сетки прекращается не при нулевом напряжении на сетке, а при некотором определенном отрицательном напряжении и, следовательно, начало характеристики токов сетки заходит в область отрицательных напряжений (фиг. 138).



Фиг. 138. Характеристика сеточного тока.



Фиг. 139. Схема сеточного детектора.

Рассмотрим сначала, какие явления будут происходить в цепи сетки, когда в эту цепь последовательно включен конденсатор.

В момент включения лампы этот конденсатор еще не заряжен, следовательно, напряжения на сетке нет и часть электронов с катода начнет садиться на провода сетки. Однако обратный путь им к катоду прегражден конденсатором. Электроны будут заряжать этот конденсатор, причем на той обкладке, которая присоединена к сетке, появится отрицательный заряд, следовательно на сетке появится некоторое отрицательное напряжение. При увеличении заряда конденсатора отрицательное напряжение будет все больше и больше возрастать и поэтому все меньшее и меньшее число новых электронов будет попадать на сетку. В конце концов, это напряжение возрастет настолько, что почти не будет электронов, обладающих скоростью, достаточной для того, чтобы преодолеть отталкивающее действие возросшего отрицательного напряжения. Электроны перестанут попадать на провода сетки, и последняя останется под некоторым постоянным отрицательным напряжением.

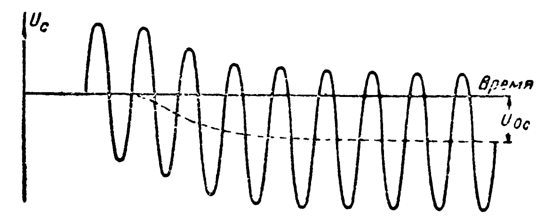
Посмотрим теперь, что произойдет, если мы помимо конденсатора C_c включим сопротивление R_c — утечку сетки

(фиг. 139). Через это сопротивление часть электронов, попадающих на сетку, сможет снова возвращаться на катод, следовательно, присутствие этого сопротивления будет уменьшать заряд конденсатора и вместе с тем понижать отрицательное напряжение на сетке. Если это сопротивление будет очень велико, то только небольшая часть заряда накопившегося на конденсаторе, может через это сопротивление стечь на нить, и, следовательно, напряжение на сетке только немного понизится. Если же сопротивление это будет невелико, то значительная часть электронов будет через него возвращаться в нить, и вместе с тем значительно уменьшится и отрицательное напряжение на сетке. При данной величине сопротивления R_c установится некоторое подвижное равновесие: через сопротивление на катод будет возвращаться как раз столько электронов, сколько их при данном заряде конденсатора и соответствующем напряжении на сетке может попасть на провода сетки. Таким образом, зашунтированный сопротивлением конденсатор в цепи сетки вызывает появление некоторого отрицательного напряжения на сетке и вместе с тем некоторого сеточного тока, величины которых определяются величиной включенного сопротивления. Чем больше сопротивление утечки, тем больше отрицательное напряжение, устанавливающееся на сетке.

Выясним теперь, что будет происходить в цепи сетки, если к ней будут подводиться немодулированные колебания. Прежде чем приступить к рассмотрению этого вопроса отметим следующее. Мы знаем, что при изменении напряжения на сетке вместе с тем будет изменяться и сила тока в цепи анода, причем зависимость между этими изменениями будет характеризоваться основными параметрами лампы (крутизной и коэффициентом усиления), а также свойствами той цепи, которая присоединена к аноду лампы. Однако для простоты мы не будем рассматривать изменений в анодном токе. Мы выясним, как будет изменяться напряжение на сетке, и этим ограничимся, так как мы знаем, что изменениям напряжения на сетке будут соответствовать такого же характера изменения анодного тока, пока лампа работает на прямолинейном участке характеристики анодного тока (а при сеточном детектировании лампа всегда должна работать на прямолинейном участке характеристики анодного тока). Следовательно, установив характер изменений напряжения на сетке, мы тем самым установим и характер изменений анодного тока. Величина же этих изменений,

зависящая от параметров лампы, нас пока интересовать не будет.

Итак, посмотрим, что будет происходить в цепи сетки лампы, в которую включен конденсатор C_c, зашунтированный утечкой R_c, если мы к ней будем подводить колебания высокой частоты и постоянной амплитуды. Так как конденсатор сетки представляет для этих колебаний малое сопротивление, то переменные напряжения будут попадать через конденсатор на сетку. Вследствие несимметрии сеточной характеристики при положительных полупериодах сеточный ток будет больше возрастать, чем при отрицательных полупериодах уменьшаться, и средний сеточный ток возрастет.



Фиг. 140. Отрицательное напряжение на сетке увеличивается под действием сигналов.

Конденсатор будет постепенно заряжаться и отрицательное напряжение на сетке будет возрастать. Продолжаться это будет до тех пор, пока в цепи сетки не установится некоторое подвижное равновесие, точно так же, как и в том случае, когда колебания на сетку не подавались. Величина установившегося на сетке отрицательного напряжения определяется следующими факторами. Количество электронов, попадающих на сетку, должно быть при установившемся равновесии как раз равно количеству электронов, проходящих через сопротивление R_c к нити. Следовательно, под действием сигналов отрицательное напряжение будет повышаться до тех пор, пока результирующее положительное напряжение, получающееся на сетке во время положительных полупериодов колебаний, не понизится до такой величины, при которой на сетку будет попадать такое же количество электронов, какое проходит через сопротивление на катод (процесс этот изображен графически на фиг. 140). Вследствие увеличения отрицательного напряжения на сетке кривая незатухающих колебаний опустится ниже горизонтальной оси настолько, что только верхушки ее будут лишь немного выступать над осью. То расстояние, на кото-

рое опустится кривая колебаний ниже горизонтальной оси, как раз будет равно тому добавочному отрицательному напряжению U_{0c}, какое устанавливается на сетке под действием приходящих колебаний. Следовательно, колебания высокой частоты, действующие на сетку лампы, будут благодаря наличию конденсатора и утечки вызывать появление на сетке лампы некоторого постоянного отрицательного напряжения, которое приведет к уменьшению средней величины анодного тока.

В этом и состоит процесс детектирования немодулированных колебаний. Высокочастотные колебания постоянной амплитуды вызывают появление постоянного напряжения на сетке лампы. При этом, чем больше амплитуда подводимых напряжений, тем больше добавочное отрицательное напряжение, создаваемое ими на сетке лампы. Ясно, что этот детекторный эффект обусловлен тем, что изменение сеточного тока происходит по-разному по обе стороны от рабочей точки. Следовательно, детектирование получается вследствие несимметричной проводимости участка сетка — катод, т. е. несимметрии в характеристике тока сетки.

Из сказанного видно, что детекторный эффект будет тем больше, чем больше сопротивление R_c. Если это сопротивление мало, то с сетки на катод будет стекать большое количество электронов, следовательно, она в течение значительной части положительных полупериодов будет находиться под положительным напряжением. Но это значит, что кривая колебаний лишь немного опустится ниже горизонтальной оси, т. е. что постоянное отрицательное смещение, создаваемое сигналами, будет невелико. А если сопротивление R_c велико, то с сетки на катод будет стекать малое число электронов. Сетка будет малую долю времени находиться под положительным напряжением, т. е. кривая колебания опустится много ниже горизонтальной оси, и добавочное отрицательное напряжение, созданное на сетке сигналами, будет велико. Иначе говоря, чем больше будет сопротивление, включенное в цепь сетки, тем больше детекторный эффект.

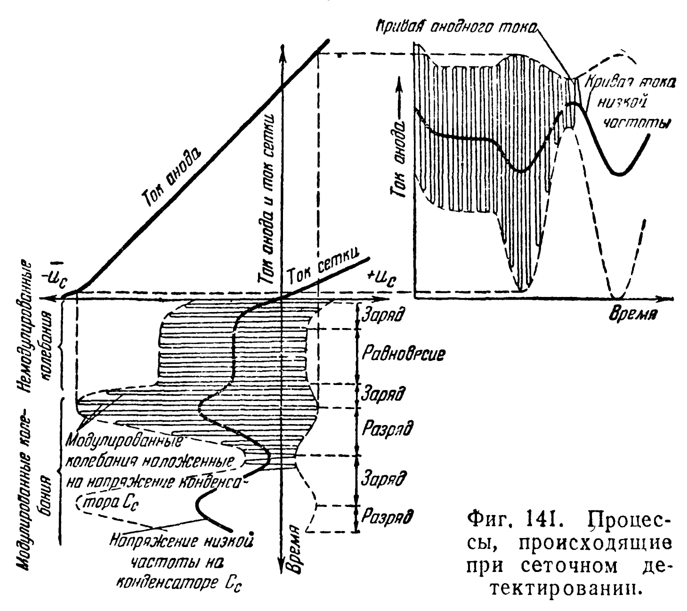
Необходимо также иметь в виду, что на величине детекторного эффекта сказывается постоянное смещение на сетке лампы и, в частности, присоединение второго конца утечки сетки R_c к той или другой точке цепи накала. Прежде всего ясно, что если на сетку подано некоторое достаточно большое постоянное отрицательное напряжение, то ток в цепи сетки прекратится вовсе, а вместе с тем прекра-

тится и сеточное детектирование: При отрицательном смещении на сетке лампа либо вовсе не детектирует, либо детектирует плохо. Наоборот, при положительном смещении величина детекторного эффекта возрастает; правда, после некоторого значения она снова начинает падать. Происходит это потому, что при положительном напряжении рабочая точка переходит в область больших сеточных токов, для которых характеристика имеет уже почти прямолинейную форму — несимметрия становится меньше и поэтому детектирование ухудшается.

Мы рассмотрели вопрос о детектировании немодулированных колебаний. Все те выводы, которые были нами сделаны для этого случая, в основном могут быть применены и для случая модулированных колебаний, и вот почему. Модулированные колебания мы можем рассматривать как колебания с амплитудой, меняющейся медленно по сравнению с периодом высокой частоты, так как эти изменения амплитуды происходят с звуковой частотой. Но как мы видели, напряжение на конденсаторе изменяется в соответствии с амплитудой подводимых колебаний. Поэтому напряжение на обкладках конденсатора C_c будет все время следовать за изменениями амплитуды напряжений принимаемых модулированных сигналов.

Это значит, что «постоянное» напряжение, возникающее под действием сигналов на конденсаторе, будет изменяться по закону модуляции и таким же образом будет изменяться и анодный ток детекторной лампы. В анодной цепи детекторной лампы появится ток, изменяющийся по закону модуляции, т. е. будут повторяться те звуковые колебания, которыми промодулированы колебания передатчика (фиг. 141). Но все это правильно только при условии, что изменение напряжения на обкладках конденсатора C_c успевает следовать за изменениями амплитуды принимаемых модулированных колебаний, т. е. что напряжения на этом конденсаторе устанавливаются достаточно быстро по сравнению с частотой модуляции. Если бы этого не было, то напряжение на конденсаторе C_c не смогло бы точно следовать за изменением амплитуд модулированных колебаний и это привело бы к искажениям приема. Скорость, с которой устанавливается напряжение на обкладках конденсатора, замкнутого на сопротивление, характеризуется временной постоянной этой цепи, т. е. произведением емкости и сопротивления цепи. Следовательно, требование, чтобы напряжение на обкладках конденсатора успевало устанавливаться до-

статочно быстро, сводится к тому, что временная постоянная цепи, состоящей из конденсатора C_c и утечки R_c не должна быть больше, чем величина самого малого периода передаваемой звуковой частоты, т. е. больше, чем величина $2 \cdot 10^{-4}$ сек. (так как при художественной передаче считается необходимым передавать частоты по крайней мере до 5 000 *гц*). Следовательно, временная постоянная цепи R_cC_c



Фиг. 141. Процессы, происходящие при сеточном детектировании.

должна быть не более десятитысячных долей секунды. Этим ставится предел увеличению сопротивления утечки. Если мы возьмем емкость конденсатора C_c в 300 *мкмкф*, т. е. $3 \cdot 10^{-10}$ *ф* (для подсчета временной постоянной емкости и сопротивления должны быть взяты в практических единицах), то при сопротивлении утечки в 600 000 *ом* мы получим временную постоянную примерно в $2 \cdot 10^{-4}$ сек. Эта временная постоянная находится уже на пределе допустимого. При больших временных постоянных искажения приема телефонных станций будут уже неизбежны. Поэтому при приеме модулированных колебаний не следует применять чересчур большие сопротивления утечки. Это имеет смысл делать только при приеме очень слабых сигналов и при том условии, что любитель заинтересован больше в самой возможности приема, чем в отсутствии искажений. Для

неискаженного же квадратичного детектирования сопротивления утечки свыше 0,5 *мгом* применять не следует.

Для уменьшения временной постоянной цепи $R_c C_c$ можно также уменьшать емкость конденсатора C_c. Однако, для того, чтобы на сетку лампы попадали достаточно большие напряжения высокой частоты, нужно, чтобы конденсатор C_c представлял малое сопротивление для этой частоты. Поэтому при приеме волн радиовещательного диапазона нельзя брать слишком малой емкость конденсатора C_c. Уменьшение его емкости ниже 150 или 100 *мкмкф* уже невыгодно, потому что оно связано с заметным уменьшением напряжения высокой частоты на сетке, а значит с ослаблением приема.

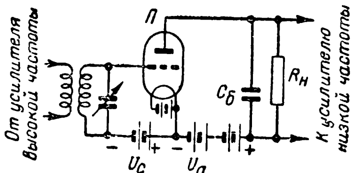
Таким образом, выбор значений R_c и C_c для детектора сводится к маневрированию между двумя опасностями — опасностью искажений при больших емкостях и сопротивлениях, с одной стороны, и опасностью ослабления слышимости при малых емкостях и сопротивлениях, — с другой.

29. АНОДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Анодно-сеточная характеристика трехэлектродной лампы в областях, где анодный ток только возникает или приближается к току насыщения, обладает достаточно резко выраженной несимметрией и за счет этой несимметрии также может быть осуществлено детектирование. Для получения детекторного эффекта нужно так выбрать смещение на сетке, чтобы рабочая точка переместилась на нижний или верхний изгиб характеристики. Принципиально можно осуществить детектирование как на нижнем изгибе, так и на верхнем. Но работа на нижнем изгибе более выгодна по следующим причинам.

Прежде всего нулевой анодный ток при работе на верхнем изгибе очень велик, что связано с излишним расходом энергии источника анодного напряжения и может привести к чрезмерному разогреву анода. Далее, чтобы перевести рабочую точку на верхний изгиб характеристики, на сетку лампы нужно подать положительное смещение, вследствие чего в сеточной цепи неизбежно возникнет ток, который сильно нагрузит приемный контур, включенный в цепь сетки, а это, как мы знаем, ухудшает резонансные свойства приемного контура. Кроме того, наличие сеточного тока может привести к возникновению одновременно с анодным и сеточного детектирования, которое вызовет искажения приема. Вообще в тех случаях, когда происходит анодное детектирование, не должно одновременно происходить се-

точного детектирования и, наоборот, при детектировании током сетки не должно происходить одновременно анодного детектирования (для чего в случае сеточного детектирования нужно работать на прямолинейной части характеристики анодного тока, как это уже указывалось выше). Одновременно сеточное и анодное детектирования недопустимы, потому что эти два эффекта могут либо друг друга компенсировать, либо, накладываясь друг на друга, вызывать искажения.



Фиг. 142. Схема анодного детектора.

По указанным причинам анодное детектирование всегда осуществляется на нижнем изгибе характеристики. Для осуществления мощного анодного детектирования необходимо подать на сетку лампы такое отрицательное смещение, чтобы лампа оказалась полностью запертой. Иногда напряжение смещения берется даже несколько большей величины, чем необходимо для запирания лампы. Принимаемые сигналы (модулированное напряжение высокой частоты) подаются на сетку последовательно с напряжением смещения U_c (фиг. 142).

В те полупериоды, когда напряжение сигнала на сетке положительно, оно будет действовать навстречу напряжению смещения, отрицательное напряжение на сетке будет уменьшаться и лампа, «отпираясь», будет давать импульсы анодного тока. В те же полупериоды, когда напряжение сигнала на сетке отрицательно, оно будет действовать в том же направлении, что и напряжение смещения, и поэтому лампа будет попрежнему оставаться запертой, т. е. анодный ток будет отсутствовать. Процесс образования токов звуковых частот из импульсов, получающихся в результате срезания одной из «полуволн» модулированного колебания, был уже рассмотрен и поэтому на нем нет надобности останавливаться.

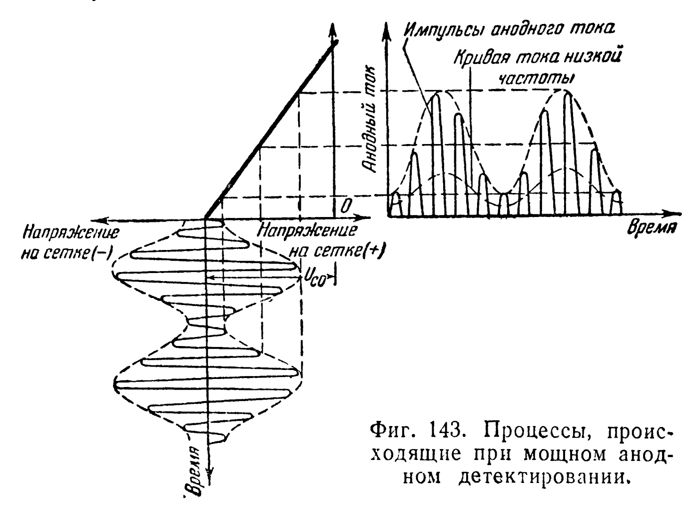
Так как при больших амплитудах напряжения сигнала нижний участок характеристики лампы практически можно считать прямолинейным, то процесс мощного анодного детектирования графически выглядит так, как показано на фиг. 143.

На этой фигуре внизу (под характеристикой) изображена кривая модулированного напряжения высокой частоты, приложенного между сеткой и катодом. Средняя линия,

около которой происходят колебания этого напряжения, смещена влево, в область отрицательных сеточных напряжений, на величину постоянного напряжения смещения, которое, как указывалось, выбирается так, чтобы лампа была полностью заперта.

Схема квадратичного анодного детектора ничем не отличается от схемы мощного анодного детектора.

Различие заключается лишь в режиме работы детектора. Для квадратичного анодного детектирования рабочая точка



Фиг. 143. Процессы, происходящие при мощном анодном детектировании.

должна находиться не в том месте, где лампа полностью заперта, а на участке наибольшей кривизны характеристики, т. е. на участке, где крутизна характеристики резче всего меняется (фиг. 144).

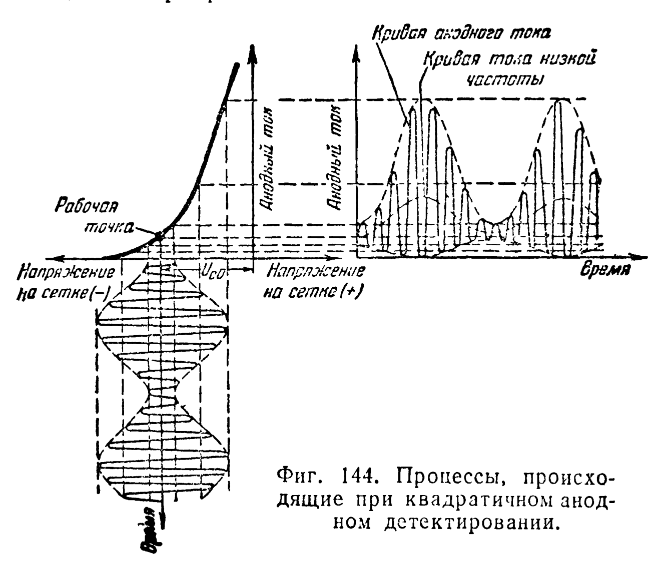
Нужное для этого смещающее напряжение на сетке должно быть меньше, чем при мощном анодном детектировании.

При положительном напряжении сигнала будет происходить резкое возрастание анодного тока, так как характеристика лампы вправо от рабочей точки поднимается круто вверх. Наоборот, при отрицательном напряжении сигнала будет происходить лишь сравнительно небольшое уменьшение анодного тока, так как влево от рабочей точки характеристика лампы опускается более полого.

В результате детектор вносит искажения в форму кривой сигнала. Благодаря этому искажению, которое сводится к тому, что положительные полупериоды модулирован-

ного колебания оказываются значительно больше отрицательных, в анодном токе появляется составляющая, изменяющаяся по закону модуляции, т. е. ток низкой частоты. Кривая полученного после детектирования низкочастотного тока показана на фиг. 144 пунктирной линией.

Из сказанного о работе анодного детектора ясно, что выбор правильного режима лампы, т. е. величина анодного напряжения и напряжения смещения, имеет для работы анодного детектора решающее значение.



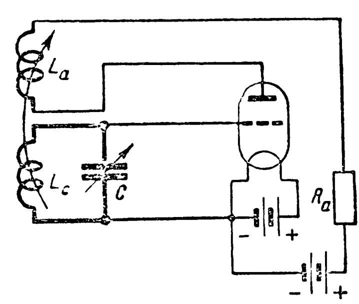
Фиг. 144. Процессы, происходящие при квадратичном анодном детектировании.

Существенное преимущество анодного детектирования по сравнению с сеточным состоит в том, что при анодном детектировании не возникает заметных токов в цепи сетки и, значит, эта цепь не нагружает колебательного контура, от которого к детектору подводятся сигналы Иначе говоря, анодный детектор обладает гораздо бóльшим входным сопротивлением, чем сеточный.

По сравнению с сеточным детектированием анодное детектирование менее чувствительно к слабым сигналам, но зато при детектировании сильных сигналов анодное детектирование дает меньше искажений. Поэтому анодное детектирование применяется иногда для детектирования сильных сигналов. Однако для этой цели теперь обычно применяют либо диодное детектирование, либо мощное сеточное детектирование.

30. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Нам уже пришлось рассматривать схемы (§ 26), в которых существует обратная связь между цепями анода и сетки. В этих схемах мы столкнулись с паразитной обратной связью, которая играет вредную роль (служит причиной возникновения собственных колебаний). Однако обратная связь в ламповых схемах может играть и полезную, притом очень важную роль. В этих схемах обратная связь специально создается и уже не носит паразитного характера.



Фиг. 145. Обратная связь между анодом и сеткой осуществляется с помощью взаимоиндукции между катушками L_c и L_a.

Рассмотрим простейшую схему с обратной связью, осуществленной за счет взаимоиндукции между катушками L_c и L_a, включенными в цепи сетки и анода. Такая схема называется схемой с индуктивной обратной связью (фиг. 145). Когда в контуре L_cC происходят какие-либо колебания, то на контуре будет существовать переменное напряжение, которое, действуя на сетку, вызовет изменения анодного тока лампы. Если сблизить между собой катушку контура L_c и катушку обратной связи L_a настолько, что магнитное поле катушки L_a будет действовать на катушку L_c, то помимо существующих в колебательном контуре L_cC напряжений в нем будет создаваться добавочная переменная э. д. с., индуктируемая изменениями силы тока в анодной катушке L_a.

Эта добавочная э. д. с., которую называют э. д. с. обратной связи, по своему характеру (форме и частоте) будет совпадать с напряжением в колебательном контуре и может от него отличаться только по амплитуде и фазе. Можно так подобрать направление витков в анодной катушке, чтобы э. д. с. обратной связи совпала по направлению и фазе с напряжением, возникающим в катушке L_c под действием колебаний в контуре. Нетрудно сообразить, как этого можно достичь. Если в какой-нибудь момент колебания в контуре создают на сетке лампы положительное напряжение, то вследствие этого сила тока в анодной цепи должна воз-

растать. Следовательно, нужно так выбрать направление витков анодной катушки L_a, чтобы при возрастании тока в этой катушке, на том конце катушки L_c колебательного контура, который присоединен к сетке, индуктировалось также положительное напряжение. Так как анодный ток течет от батареи к аноду (электроны движутся от анода к батарее!), то при увеличении анодного тока э. д. с. в катушке L_a, препятствующая изменению силы тока, будет направлена от конца катушки, присоединенного к аноду, к другому ее концу. Если далее катушки L_a и L_c намотаны в одном направлении, то в катушке L_c возникнет э. д. с. того же направления, что и в L_a, т. е. в рассматриваемый момент э. д. с. обратной связи в катушке L_c будет направлена к тому ее концу, который ближе к катушке L_a. А это значит, что ближний к анодной катушке конец сеточной катушки должен быть присоединен к сетке лампы. При этом э. д. с. обратной связи будет складываться с напряжением в контуре и суммарное напряжение на сетке будет больше, чем то, которое существовало бы на ней, если бы не было обратной связи.

Итак, мы видим, что при помощи лампы и обратной связи анодного контура с сеточным можно при известных условиях добиться того, чтобы в контуре сетки получались напряжения бо́льшие, чем те, которые существовали бы в этом контуре без обратной связи. В этом и заключается эффект обратной связи или регенерации. Условия, при которых может быть достигнут этот эффект, сводятся к тому, чтобы напряжения в контуре и напряжения от обратной связи совпадали по фазе. Для этого, если катушки намотать в одном направлении и, например, начало анодной катушки присоединено к аноду, то к сетке должен быть присоединен конец сеточной катушки[1] (и наоборот). Если включение одной из катушек изменим на обратное, то напряжение и э. д. с. обратной связи в сеточном контуре окажутся уже противоположными по фазе и э. д. с. обратной связи будет уменьшать амплитуды колебаний в сеточном контуре, а не увеличивать их. Это обстоятельство необходимо всегда иметь в виду, так как при неправильном включении катушек обратная связь даст отрицательный эффект.

---

[1] Начало и конец катушки, конечно, понятия условные. Но если мы принимаем, что катушки намотаны в одном направлении, то это и значит, что направление намотки, считая от начала к концу, в обеих катушках одинаково. Этим и определяются „начала" и „концы" катушек.

Для того чтобы различить эти два случая, когда обратная связь дает либо положительный, либо отрицательный эффект, говорят соответственно о положительной и отрицательной обратной связи.

Эффект обратной связи можно пояснить энергетическими соображениями. Вследствие наличия сопротивления в колебательном контуре в этом контуре происходят потери энергии. Та энергия, которую отдает в контур внешняя э. д. с., расходуется именно на пополнение этих потерь. При этом, чем больше будет активное сопротивление колебательного контура, тем больше в нем будет затухание и, следовательно, тем меньше будет сила тока, создаваемого данной внешней э. д. с. в контуре. Но помимо той энергии, которую приносит с собой внешняя э. д. с., в контуре с лампой есть еще местный источник энергии—анодная батарея, которая доставляет энергию в анодную цепь лампы. Можно считать, что при отсутствии тока в цепи сетки на управление анодным током не расходуется энергия из этой цепи. Следовательно, колебания в цепи сетки только управляют энергией, поступающей из анодной батареи. Благодаря обратной связи возможен переход части этой энергии обратно в колебательный контур. При положительной обратной связи э. д. с. обратной связи будет совершать положительную работу, т. е. отдавать энергию в контур. При этом потери в цепи сетки будут компенсироваться уже не только за счет внешней э. д. с., но частично за счет энергии, отдаваемой анодной батареей. Благодаря этому контур в цепи сетки будет вести себя по отношению к внешнему воздействию как контур с меньшими потерями, чем в отсутствие обратной связи. Иначе говоря, колебательный контур в цепи сетки обладает как бы меньшим затуханием, чем в отсутствие обратной связи, и действие обратной связи сводится к уменьшению затухания контура.

Если лампа работает на прямолинейном участке характеристики, то сила тока в анодной цепи пропорциональна напряжению на сетке лампы и, следовательно, э. д. с. обратной связи в контуре сетки также пропорциональна тому напряжению, которое создается внешней э. д. с. Поэтому для слабых колебаний в цепи сетки, которые не выходят за пределы прямолинейной части характеристики, действие обратной связи сводится к тому, что оно в определенное число раз повышает напряжения, получающиеся на сетке лампы, или, что то же самое, как бы в определенное число

раз понижает затухание колебательного контура в цепи сетки.

Но если переменное напряжение на сетке будет достаточно велико, то оно уже будет выходить за пределы прямолинейной части характеристики. В этом случае прямой пропорциональности между э. д. с. обратной связи и напряжениями, вызванными внешней э. д. с., уже не будет существовать. Действие обратной связи будет меньше сказываться при сильных внешних э. д. с., чем при слабых, так как эффект, вызванный обратной связью, зависит от крутизны характеристики лампы: чем круче характеристика, тем резче изменения анодного тока и тем больше э. д. с. обратной связи (при той же самой взаимоиндукции между анодной и сеточной катушками).

Но при больших напряжениях на сетке работа лампы будет частью происходить в областях, близких к нижнему и верхнему изгибам, т. е. на более пологих участках анодной характеристики. Вследствие этого «средняя крутизна» анодной характеристики уменьшится, а вместе с тем уменьшится эффект, даваемый обратной связью.

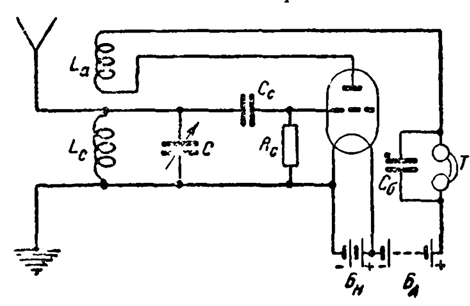
Действие обратной связи зависит, таким образом, от величины напряжений, подводимых к сетке лампы. Если эти напряжения малы, то эффект обратной связи (т. е. уменьшение затухания в контуре сетки благодаря обратной связи) велик, если же эти напряжения велики, то эффект обратной связи мал. Это обстоятельство является весьма существенным при определении роли обратной связи в тех или других условиях приема.

Из всего сказанного легко определить, в чем заключаются основные преимущества обратной связи. Так как благодаря обратной связи как бы уменьшается затухание колебательного контура в цепи сетки, т. е. приемного контура, то эффект обратной связи дает все те преимущества, которые дает всякое уменьшение затухания приемного контура. Эти преимущества, как мы знаем, заключаются, во-первых в повышении чувствительности приемника, а, во-вторых, в увеличении остроты его настройки. При этом с помощью обратной связи можно достигнуть такого кажущегося уменьшения затухания в контуре, которое совершенно недостижимо при помощи средств, применяемых для уменьшения затухания контуров без электронной лампы (увеличения диаметра провода катушки, улучшения качества изоляции и т. д.). Эффект обратной связи может повысить чувствительность и избирательность схемы во много раз.

Однако, как мы уже указывали, это рассуждение правильно только для слабых сигналов, при которых мы можем считать характеристику лампы прямолинейной. Чем больше переменные напряжения на сетке лампы, т. е. чем сильнее принимаемые сигналы, тем больше будут захватываться пологие части анодной характеристики при работе лампы и тем меньше будет эффект, даваемый обратной связью. Поэтому при очень сильных сигналах обратная связь вообще не будет давать сколько-нибудь заметного эффекта.

31. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПРИЕМНИК

Мы рассмотрели, какими свойствами обладает схема с обратной связью как усилитель высокой частоты. Но обычно эта же лампа одновременно используется как сеточный детектор, для чего в цепь сетки включаются конденсатор C_c и утечка R_c (фиг. 146). Благодаря этому происходит сеточное детектирование и в анодной цепи помимо тока высокой частоты появляется ток низкой (звуковой) частоты, питающий телефон T. Небольшая емкость $C_б$ создает путь для проходящих в анодной цепи токов высокой частоты, т. е. играет ту же роль, что и блокировочный конденсатор в детекторном приемнике.



Фиг. 146. Одноламповый регенератор.

Рассматриваемая схема представляет собой одноламповый регенеративный приемник, или регенератор. Такие приемники получили весьма широкое распространение среди радиолюбителей. Для получения громкоговорящего приема к регенератору присоединяют еще один или два каскада усиления низкой частоты.

Из сказанного ясно, что регенеративный приемник обладает гораздо большей чувствительностью, чем такой же приемник без обратной связи. Этим и было вызвано широкое распространение приемников с обратной связью.

Однако, как уже подчеркивалось, основные преимущества регенератора — чувствительность к слабым сигналам и острота настройки — сказываются тем заметнее, чем слабее принимаемые сигналы. Из этого ясно, для какой цели следует применять регенератор — он особенно пригоден

для приема слабых сигналов при условии, что слабы не только принимаемые сигналы, но и сигналы мешающих станций. Если сигналы мешающих станций очень сильны, то регенератор по отношению к этим сильным сигналам, как мы уже видели, будет вести себя как обычный приемный контур с нормальным затуханием, так как эффект обратной связи при сильных сигналах почти не будет сказываться. Таким образом, от регенератора можно ожидать большой чувствительности к слабым сигналам и большой остроты настройки, но опять-таки только по отношению к слабым сигналам.

Однако чувствительность регенератора и к слабым сигналам не безгранична. Действие обратной связи, как мы уже знаем, сводится к частичной компенсации затухания контура. Эта частичная компенсация происходит за счет энергии, отдаваемой э. д. с. обратной связи из анодной цепи в сеточный контур. Чем сильнее обратная связь, тем большее количество энергии передается из анодного контура в сеточный и тем бо́льшая часть потерь в этом контуре будет компенсироваться обратной связью. Другими словами, при увеличении обратной связи кажущееся затухание контура будет уменьшаться. При некоторой достаточно сильной обратной связи, которая называется критической связью, все потери в контуре окажутся компенсированными э. д. с обратной связи. При дальнейшем увеличении обратной связи энергия, отдаваемая в контур э д. с. обратной связи, окажется больше, чем потери энергии в контуре, кажущееся затухание контура станет «отрицательным».

Это значит, что возникшие в контуре по какой-либо причине колебания будут со временем не затухать, а нарастать, т. е. будет иметь место самовозбуждение колебаний. Действительно, во всякой электрической цепи всегда существуют флуктуации, т. е. очень слабые нерегулярные электрические колебания, и в контуре с отрицательным затуханием эти колебания будут нарастать. Поэтому, если обратная связь превосходит критическую, так что затухание контура окажется отрицательным, то вследствие наличия флуктуаций в контуре возникнут нарастающие собственные колебания Однако это нарастание колебаний не будет продолжаться беспредельно; при некоторых достаточно больших амплитудах колебаний дальнейшее их нарастание прекратится. Причина этого та же, что и причина уменьшения чувствительности и остроты настройки при увеличении силы принимаемых сигналов. При нарастании амплитуд перемен-

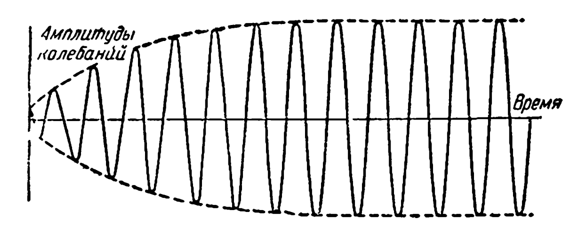
ные напряжения будут все дальше и дальше заходить в такие области, где крутизна характеристики уменьшается При уменьшении крутизны характеристики будет вместе с тем уменьшаться и э. д. с. обратной связи, так как, чем положе характеристика, тем меньше изменения силы анодного тока (при данных изменениях напряжения на сетке) и тем меньше э. д. с., индуктируемая этими изменениями анодного тока в сеточном контуре. При уменьшении э. д. с. обратной связи будет уменьшаться и энергия, отдаваемая этой э. д. с. в колебательный контур. Следовательно, по мере увеличения амплитуды колебаний в контуре количество энергии, поступающей за период колебаний, благодаря обратной связи из анодной цепи в колебательный контур будет возрастать все медленнее и медленнее. Между тем потери энергии в самом контуре по мере увеличения амплитуд колебаний будут быстро расти, так как потери энергии пропорциональны квадрату амплитуды тока в контуре. Поэтому, если при малых амплитудах колебаний энергия, поступающая в контур, благодаря обратной связи была больше, чем потери энергии в контуре (вследствие чего и происходило нарастание колебаний), то по мере роста амплитуд потери энергии будут «догонять» энергию, отдаваемую э. д. с. обратной связи. Когда потери энергии будут как раз равны энергии, отдаваемой э. д. с обратной связи, нарастание колебаний прекратится, и в контуре установятся колебания с некоторой неизменной (стационарной) амплитудой.

Таким образом, если обратная связь доведена до величины, большей критической, всегда возникают собственные колебания. Эти колебания нарастают, причем сначала быстро, а потом медленнее. При некоторых достаточно больших амплитудах нарастание колебаний прекращается и в контуре устанавливаются незатухающие колебания с постоянной амплитудой. Эта картина установления колебаний приведена на фиг. 147.

Величина амплитуды установившихся колебаний зависит от свойств контура и лампы и от величины обратной связи. Чем больше обратная связь, тем больше амплитуда установившихся собственных колебаний Однако, если обратная связь взята настолько большой, что колебания в контуре сетки доходят уже до напряжений, соответствующих, с одной стороны, отсутствию анодного тока в лампе, и с другой, — току насыщения, то очевидно, что дальнейшее увеличение обратной связи уже не может вызвать

заметного увеличения амплитуд колебаний. Следовательно, при достаточно сильной обратной связи в регенераторе могут быть возбуждены незатухающие колебания, амплитуда которых будет увеличиваться при увеличении обратной связи, но не может стать большей некоторой определенной величины, которая зависит от свойств лампы и колебательного контура.

Возникновение собственных колебаний при увеличении обратной связи может быть обнаружено различными способами. Сами по себе колебания высокой частоты, конечно, не



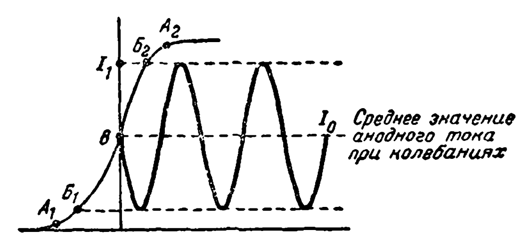
Фиг. 147. Процесс установления колебаний в регенераторе.

могут произвести никакого действия на телефон, так как они обычно имеют постоянную амплитуду, т. е. являются немодулированными колебаниями и после детектирования не дают колебаний звуковой частоты. Однако в большинстве случаев возникновение собственных колебаний в регенераторе сопровождается некоторыми явлениями, по которым можно констатировать возникновение этих колебаний.

Прежде всего, если в это время принимается какая-либо станция, и помимо колебаний принимаемой станции в приемнике появятся собственные колебания, то наложение этих колебаний на принимаемые приведет к искажению приема и появлению тона низкой частоты, который будет слышен в телефоне, так называемого тона биений (о биениях подробнее будет рассказано в седьмой главе). В том случае, когда прием не ведется, обнаружить собственные колебания по появлению биений уже невозможно. В этом случае надо пользоваться теми косвенными признаками, о которых мы упомянули и на которых мы сейчас остановимся подробнее.

Эти признаки связаны с тем, что возникновение собственных колебаний обычно влияет на среднее значение анодного тока. Представим себе, что рабочая точка выбра-

на в точности на середине анодной характеристики, т. е. в точке B (фиг. 148). Если обратная связь больше критической, то в регенераторе возникнут колебания. Положим, что амплитуда установившихся колебаний будет такова, что переменное напряжение будет доходить до значений, соответствующих точкам $Б_1$ и $Б_2$ на характеристике. Таким колебаниям будет соответствовать амплитуда силы анодного тока, равная $I_1 - I_0$. При увеличении обратной связи установится стационарное колебание с большей амплитудой, так что переменное напряжение будет доходить до значений, соответствующих точкам A_1 и A_2. Но и в том



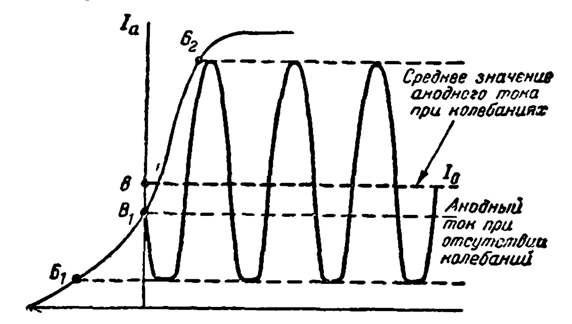
Фиг 148. Когда рабочая точка расположена в середине характеристики, возникновение колебаний не вызывает изменения среднего значения анодного тока.

и другом случае, если рабочая точка находится в средней точке анодной характеристики и если характеристика относительно этой точки достаточно симметрична, среднее значение анодного тока не изменится, так как изменение силы тока в обе стороны от средней точки будет одно и то же. Следовательно, если рабочая точка установлена достаточно точно на середине анодной характеристики, то возникновение колебаний никак не отразится на средней величине анодного тока.

В случае же, если рабочая точка не совпадает со средней точкой анодной характеристики, например лежит в точке B_1 на фиг. 149, то картина получится совершенно иная. Изменения анодного тока в обе стороны от среднего значения будут происходить по-разному и, следовательно, среднее значение анодного тока при колебаниях будет уже другим.

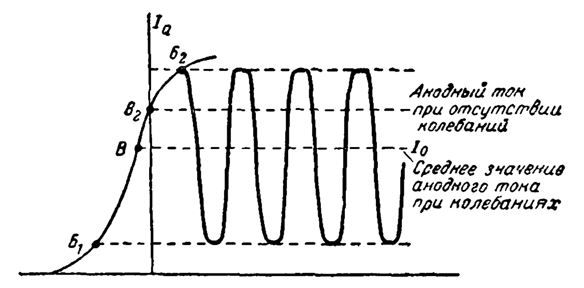
Таким образом, если лампа работает на несимметричной точке характеристики, возникновение колебаний неизбежно связано с изменением величины среднего анодного тока. В случае, изображенном на фиг. 149, должно происходить

увеличение тока. В том же случае, когда рабочая точка расположена выше средней точки анодной характеристики (фиг. 150), возникновение колебаний должно вызвать уменьшение средней величины анодного тока от величины,



Фиг. 149. Когда рабочая точка расположена в нижней части характеристики, возникновение колебаний сопровождается увеличением анодного тока.

соответствующей точке B_2, до величины I_0, соответствующей точке B. Если возникновение быстро нарастающих собственных колебаний связано с изменением средней величины анодного тока, то быстрое изменение («скачок») силы анод-



Фиг. 150. Когда рабочая точка расположена в верхней части характеристики, возникновение колебаний сопровождается уменьшением среднего значения анодного тока.

ного тока вызовет щелчок в телефоне, включенном в анодную цепь. По этому признаку и может быть обнаружено в указанных случаях возникновение собственных колебаний. Правда, как мы уже указали, при работе на симметричной точке возникновение собственных колебаний не связано с изменением средней величины анодного тока и, следовательно, не сопровождается щелчком в телефоне. Одна-

ко установить лампу точно на симметричную точку анодной характеристики практически невозможно, и поэтому почти всегда возникновение собственных колебаний сопровождается хотя бы очень слабым щелчком.

Мы подробно остановились на признаках возникновения собственных колебаний в регенераторе, так как эти собственные колебания в приемнике, предназначенном для приема телефонных станций, являются нежелательными и их следует избегать, а для того чтобы их избежать, нужно прежде всего знать, что они возникли.

О том, какой вред причиняют собственные колебания в приемнике с обратной связью при приеме телефонных станций, мы уже вкратце упоминали. Именно, собственные колебания, складываясь с приходящими, создают биения, которые после детектирования вызывают появление свиста или воя в телефоне. Если же настроить приемник так, что частота собственных колебаний точно совпадает с частотой приходящих сигналов, то биений между этими двумя частотами не должно получиться, и тон биений в телефоне исчезнет. Этот случай называется «приемом на нулевых биениях». Однако, хотя в этом случае тона биений в телефоне не слышно, но прием все же сопровождается более или менее сильными искажениями.

Собственные колебания в регенераторе являются вредными не только с точки зрения тех искажений, которые они вносят в прием. Возбужденный регенератор, т. е. создающий собственные колебания, вызывает колебания в присоединенной к нему антенне, и эти колебания антенна излучает в виде электромагнитных волн. Таким образом, возбужденный регенератор превращается в миниатюрную передающую радиостанцию и действует на соседние приемные антенны. Если соседние приемники настроены на ту же или почти ту же волну, что и излучающий регенератор, и принимают ту же самую или соседнюю по частоте станцию, что и излучающий регенератор, то воздействие колебаний, излучаемых регенератором, вызывает появление биений в этих приемниках и в них возникает свист или вой. Таким образом, собственные колебания в регенераторе мешают приему не только на этот регенератор, но и на все соседние приемники, настроенные на ту же или близкую волну. Поэтому возникновения собственных колебаний в регенераторе надо тщательно избегать.

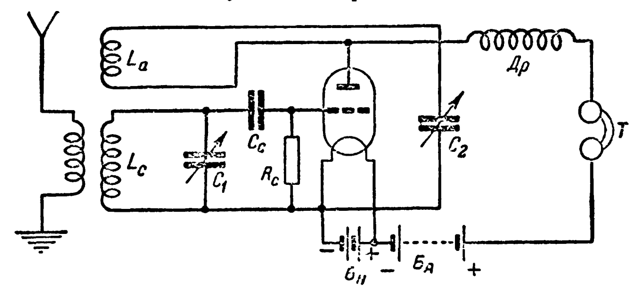
Итак, неискаженный и не создающий помех соседним приемникам прием на регенератор возможен только при

отсутствии собственных колебаний. С другой стороны, как следует из самого принципа действия регенератора, чем сильнее обратная связь, тем больше чувствительность регенератора. Следовательно, прием на регенератор выгодно вести при обратной связи, возможно более близкой к критической, т. е. вблизи той границы, после которой в регенераторе возникают собственные колебания, — «на пороге генерации». Однако работа на пороге генерации получается неустойчивой. Достаточно небольших изменений режима лампы или даже случайных толчков, чтобы возникли собственные колебания. Поэтому практически приходится работать, немного не доходя порога генерации. Этим и определяется то наибольшее усиление слабых сигналов, которое может дать регенератор. Чем более плавно меняется обратная связь, тем ближе удается подойти к порогу генерации и тем бóльшую чувствительность получить от регенератора. Кроме того, конечно, важно, чтобы режим работы лампы поддерживался постоянным. При этих условиях регенератор может дать очень большую чувствительность и работать достаточно устойчиво. Однако опасность помех радиоприему со стороны регенератора все же остается, так как при работе с сильной обратной связью, близкой к критической, колебания могут возникать вследствие случайных причин. Наиболее надежный путь устранения этой опасности — применение ступени предварительного усиления высокой частоты перед регенератором. Предварительная ступень, усиливающая колебания, подводимые со стороны сетки, наоборот, ослабляет колебания, идущие со стороны анода. Поэтому мешающее соседним приемникам «обратное излучение» регенератора почти устраняется. Вместе с тем предварительное усиление высокой частоты увеличивает чувствительность и избирательность приемника.

В рассмотренной нами наиболее распространенной схеме регенератора с индуктивной обратной связью регулировка величины этой связи производится изменением расстояния между сеточной и анодной катушками. Однако примененный в этой схеме метод регулировки обратной связи не является единственно возможным. Как само осуществление обратной связи, так и изменение ее величины могут производиться и другими способами. Принцип действия всех этих схем ничем не отличается от принципа действия схемы, рассмотренной нами. Поэтому мы в качестве примера рассмотрим только некоторые из них и ограничимся при этом лишь краткими указаниями, так как все то, что было нами ска-

зано относительно свойств и возможностей схемы с индуктивной обратной связью, в полной мере будет относиться и к тем схемам, которые будем рассматривать.

Схема с емкостной регулировкой индуктивной обратной связи приведена на фиг. 151. Обратная связь цепи анода с цепью сетки здесь осуществляется также за счет индуктивной связи между катушками L_a и L_c, включенными в эти цепи. Разница заключается лишь в способе регулировки величины обратной связи. В схеме фиг. 151 для этой цели последовательно с катушкой обратной связи включен спе-

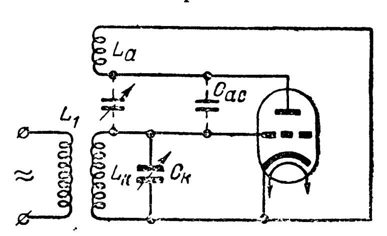


Фиг. 151. Схема с емкостной регулировкой обратной связи.

циальный переменный конденсатор обратной связи C_2. Величина емкости этого конденсатора определяет сопротивление цепи $L_a - C_2$ току высокой частоты, проходящему в цепи анода. Чем больше будет емкость конденсатора C_2, тем меньше сопротивление этой цепи и тем сильнее ток высокой частоты в ней, а следовательно, тем сильнее и обратная связь между анодом и сеткой. Таким образом, увеличение обратной связи достигается увеличением емкости конденсатора C_2. Но наличие конденсатора C_2 в цепи обратной связи преграждает путь постоянной слагающей анодного тока и току низкой частоты, получившемуся в результате детектирования. Для того чтобы предоставить путь этим токам, между анодом и катодом включается параллельно еще одна цепь, в которую введены высокочастотный дроссель *Др* и анодная нагрузка, например на фиг. 151 телефон *Т*. Назначение дросселя заключается в том, чтобы воспрепятствовать прохождению токов высокой частоты через эту параллельную цепь. При отсутствии дросселя токи высокой частоты замкнулись бы через цепь телефона, который обладает сравнительно большой емкостью, и не попали бы в катушку обратной связи.

Плавность регулировки обратной связи при помощи переменного конденсатора позволяет ближе подходить к порогу генерации, чем в схеме с индуктивной обратной связью. Более плавная регулировка обратной связи при помощи переменного конденсатора, чем передвижением катушки обратной связи, объясняется следующим. Анодная цепь связана с цепью сетки не только путем индуктивной связи, но и через емкость, действующую между анодом и сеткой лампы. Действие связи через междуэлектродную емкость лампы усиливается благодаря наличию параллельной емкости между катушкой обратной связи и катушкой колебательного контура.

На фиг. 152 эти емкости обозначены пунктиром. При сближении катушек емкость между ними увеличивается и, следовательно, происходит увеличение обратной связи сразу от двух причин: от увеличения взаимной индуктивности и от увеличения емкости между катушками.



Фиг. 152. Обратная связь осуществляется не только через взаимоиндукцию между катушками, но и через паразитные емкости.

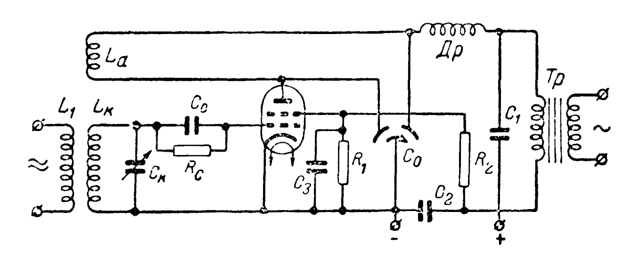
При регулировке обратной связи с помощью переменного конденсатора емкость между катушками остается неизменной, так как катушки L_a и L_c неподвижны и поэтому подход к порогу генерации получается более постоянным.

Однако и эта схема не свободна от недостатков.

«Знак обратной связи» через емкость между анодом и сеткой лампы, т. е. соотношение между фазой э. д. с. обратной связи и фазой напряжения на сетке, зависит от характера нагрузки в анодной цепи лампы. При индуктивной нагрузке в анодной цепи напряжение, попадающее через эту емкость из анодной цепи в сеточную, совпадает по фазе с напряжением на колебательном контуре, т. е. осуществляется положительная обратная связь. При емкостной нагрузке в анодной цепи напряжение, вносимое в контур через емкость, имеет противоположную фазу по отношению к напряжению на колебательном контуре, т. е. создается отрицательная обратная связь.

В схемах с подвижной катушкой нагрузка в анодной цепи имеет индуктивный характер, а в схемах с регулировкой обратной связи при помощи переменного конденсатора анодная нагрузка имеет емкостный характер. Возрастание

обратной связи при увеличении емкости конденсатора C_2 (фиг. 151) происходит не только по причине увеличения тока через катушку обратной связи, но и по причине уменьшения отрицательной обратной связи через междуэлектродную емкость анод — сетка и емкость между анодной и сеточной катушками. Уменьшить влияние этого второго фактора можно путем применения экранированной лампы, у которой емкость между анодом и сеткой очень мала, и при-



Фиг. 153. Схема регулировки обратной связи с помощью дифференциального конденсатора.

менением цилиндрических катушек в колебательном контуре и цепи обратной связи, обладающих малой взаимной емкостью.

Дальнейшего улучшения схемы регенератора можно достигнуть, применяя так называемый дифференциальный переменный конденсатор (фиг. 153). Дифференциальный конденсатор C_0 состоит из трех изолированных друг от друга систем пластин. Две системы пластин являются неподвижными, а третья — подвижной. Если, вращая ручку конденсатора, уменьшать емкость между подвижной и одной из неподвижных систем, то емкость подвижной системы по отношению к другой неподвижной системе будет увеличиваться.

Рассматривая схему фиг. 153, мы видим, что сопротивление нагрузки в анодной цепи лампы при вращении ручки конденсатора обратной связи будет изменяться очень мало. Если сопротивление одной из параллельных ветвей анодной нагрузки уменьшается, то сопротивление другой ветви увеличивается и, наоборот. Благодаря этому величина обратной связи, обусловленной междуэлектродной емкостью анод—сетка и емкостью между катушками, будет изменяться очень незначительно и поэтому подход к порогу генерации будет более плавным.

Итак, надлежащим выбором схемы генератора и входящих в нее элементов можно обеспечить плавный подход к порогу генерации.

Однако еще более существенное значение имеет выбор режима работы лампы, главным образом выбор напряжений на аноде и на экранирующей сетке. Правильным выбором напряжения на аноде и на экранирующей сетке (при которых рабочая точка располагается в середине характеристики) достигается «мягкое» возникновение генерации, характеризующееся едва слышным щелчком в телефоне и постепенно нарастающим шорохом по мере увеличения обратной связи за порогом генерации.

При неправильном режиме лампы, когда рабочая точка расположена несимметрично на характеристике (вблизи нижнего или верхнего изгиба), получается «жесткое» возникновение генерации, сопровождающееся резким щелчком. Жесткое возникновение генерации сопровождается явлением «затягивания» в обратной связи, которое состоит в том, что колебания прекращаются (генерация «срывается») при меньшей обратной связи, чем та, при которой генерация возникает. Поэтому при жестком режиме, после того как генерация возникла, нужно значительно ослабить обратную связь, чтобы генерация прекратилась. При промежуточных значениях обратной связи, т. е. при меньшей обратной связи, чем та, при которой колебания возникают, и большей, чем та, при которой они срываются, колебания в регенераторе легко возникают от случайных толчков. Поэтому из-за явления затягивания в жестком режиме невозможно работать у порога генерации.

Между тем эффект, даваемый регенератором, тем больше, чем ближе к порогу генерации он работает. Поэтому только в «мягком» режиме можно получить максимальную чувствительность регенератора. Для осуществления «мягкого» режима, как уже сказано, нужно рабочую точку сдвинуть на среднюю часть характеристики (на участок с наибольшей крутизной).

32. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПРИЕМНИКА ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

В радиолюбительской литературе и журналах описано очень много схем и конструкций приемников. Чтобы рассмотреть все эти схемы и разобрать достоинства и недостатки каждого приемника в отдельности, потребовалась бы специальная книга.

С другой стороны, при всем разнообразии в схемах и конструкциях любительских приемников различия, существующие между однотипными приемниками, не так уж существенны.

Самые разнообразные по схеме и конструкции, но принадлежащие к одному и тому же типу радиоприемники, если они правильно сконструированы и налажены, должны давать примерно одинаковые результаты.

Наконец, путем самых незначительных изменений в схеме, или даже совсем не изменяя ее, а изменив только режим ламп, можно значительно улучшить некоторые показатели приемника, правда обычно за счет ухудшения его других показателей. Например, можно улучшить качество воспроизведения звука за счет уменьшения чувствительности или громкости или повысить громкость за счет увеличения мощности, потребляемой приемником от источников питания.

Следовательно, свойства приемника не так уже сильно зависят от его схемы и конструкции.

Радиолюбитель, сознательно конструирующий свой приемник, всегда менее связан отсутствием тех или иных деталей, чем радиолюбитель, слепо копирующий описанную конструкцию. Первый видоизменяет выбранную схему соответственно имеющимся у него деталям и затем добивается от приемника, собранного по этой схеме, нужных ему результатов. Второму же почти никогда не удается найти описание такой схемы и конструкции, для которой у него имелись бы все необходимые детали.

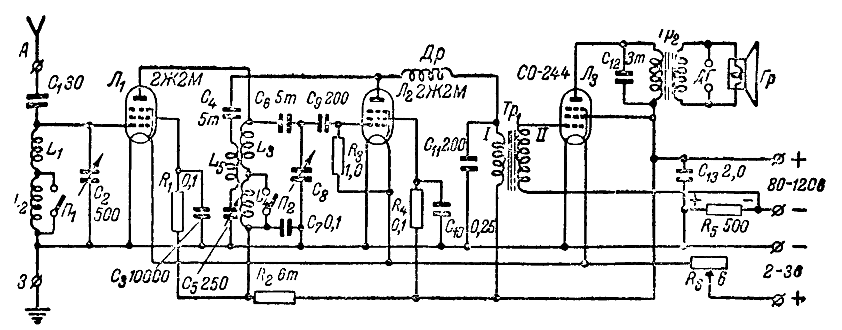
Поэтому мы не будем описывать различных схем приемников, а ограничимся рассмотрением только одного типичного приемника.

Прежде чем переходить к описанию конкретной схемы, рассмотрим применяемую обычно систему обозначений для различных типов приемников. Эти обозначения удобны тем, что они содержат в себе указания о числе ламп приемника и их назначении, т. е. дают одну из основных характеристик приемника. Делается это следующим образом. Детекторная лампа обозначается буквой V. Число ламп до детектора, т. е. усиливающих высокую частоту, указывается цифрой слева от буквы V, а число ламп после детектора, т. е. усиливающих низкую частоту,— цифрой справа от буквы V. Например, приемник с двумя ступенями усиления высокой частоты и одной ступенью усиления низкой частоты обозначается символом 2-V-1, с одной ступенью

усиления высокой частоты и двумя ступенями низкой частоты — 1-V-2 и т. д.

Перейдем теперь к рассмотрению конкретной схемы типичного лампового приемника, средней сложности типа 1-V-1, т. е. приемника, который имеет одну ступень усиления высокой частоты, ламповый детектор и одну ступень усиления низкой частоты. Одна из возможных схем такого приемника изображена на фиг. 154.

Приемник имеет обратную связь в детекторной ступени. В сельской местности это обеспечивает возможность прие-



Фиг. 154. Принципиальная схема приемника прямого усиления типа 1-V-1.

ма (при наличии наружной антенны) свыше десяти различных станций Советского Союза.

Ступень низкой частоты, имеющаяся в приемнике, обеспечивает выходную мощность, достаточную для питания громкоговорителей «Рекорд», «Малютка», ДАГ-1 и др.

Применение ламп двухвольтовой серии и соответствующий выбор их режима делают приемник достаточно экономичным. При напряжении батареи в 100 *в* он потребляет общий анодный ток около 5—6 *ма* и общий ток для накала нитей ламп 0,3 *а*.

Два настраивающихся контура и обратная связь обеспечивают вполне достаточную избирательность для раздельного приема близких по длине волн слабо слышимых станций. Для отстройки от мощной местной станции избирательность этого приемника может оказаться недостаточной. Но если прием производится на расстоянии свыше 100 *км* от мощной станции, то избирательность такого приемника все же позволяет отстроиться от мешающих воздействий этой станции.

Рассмотрим отдельные ступени этого приемника.

Усилитель высокой частоты включает в себя следующие элементы:

1. Высокочастотный пентод 2Ж2М ($Л_1$).
2. Катушки первого колебательного контура L_1 и L_2.
3. Конденсатор C_1 связи первого колебательного контура с антенной.
4. Катушки второго колебательного контура L_3 и L_4.
5. Конденсаторы переменной емкости C_2 и C_8 первого и второго колебательных контуров.
6. Переключатели диапазонов $П_1$ и $П_2$, при помощи которых производится одновременно замыкание накоротко и размыкание катушек L_2 и L_4. При замкнутых накоротко этих катушках принимаются средние волны, а при разомкнутых — длинные.
7. Постоянный конденсатор C_6, отделяющий переменный конденсатор C_8 от катушек L_3 и L_4. Если бы не было этого конденсатора C_6, то при случайном соприкосновении между собой подвижных и неподвижных пластин конденсатора C_8 произошло бы короткое замыкание анодной батареи.
8. Сопротивление R_1, через которое подается постоянное напряжение на экранную сетку лампы $Л_1$, и конденсатор C_3, заземляющий эту сетку для токов высокой частоты.
9. Сопротивление R_2, понижающее напряжение на аноде лампы $Л_1$, и конденсатор C_7, шунтирующий это сопротивление для токов высокой частоты.

Колебания высокой частоты, принятые антенной, поступают в первый колебательный контур приемника через конденсатор C_1. Емкость этого конденсатора должна быть мала—порядка 30 *мкмкф*. Если взять конденсатор C_1 большей емкости, то емкость антенны будет заметно увеличивать общую емкость первого контура и будет затруднено перекрытие этим контуром нужного диапазона волн.

Первый контур $L_1L_2C_2$ настраивается на частоту принимаемых колебаний при помощи переменного конденсатора C_2. Максимальная емкость этого конденсатора 500 *мкмкф*.

Выделенные этим контуром колебания высокой частоты поступают на сетку лампы $Л_1$; анодной нагрузкой для этой лампы служит второй колебательный контур $L_3L_4C_8$. Настройка второго колебательного контура на частоту принимаемых колебаний производится при помощи переменного конденсатора C_8. Конденсаторы C_2 и C_8 могут быть посажены на одну ось и управляться одной ручкой. Это очень упростит настройку приемника, но зато потребует тщатель-

ной подгонки настройки обоих контуров. Необходимо будет добиться, чтобы при любом положении ручки конденсаторов оба контура были настроены точно на одну и ту же длину волны.

Конденсаторы C_6 и C_7 на настройку второго колебательного контура почти не влияют, так как их емкости много больше емкости переменного конденсатора C_8.

Детекторная ступень включает в себя следующие элементы:

1. Конденсатор C_9.
2. Сопротивление утечки R_3.
3. Пентод 2Ж2М ($Л_2$).
4. Трансформатор низкой частоты $Тр_1$.
5. Блокировочный конденсатор C_{11}.
6. Сопротивление R_4, через которое подается напряжение на экранную сетку второй лампы, и конденсатор C_{10}, заземляющий эту сетку для токов высокой и низкой частот.

Кроме перечисленных в этой же ступени имеются следующие элементы, необходимые для осуществления обратной связи:

1. Катушка обратной связи L_5.
2. Переменный конденсатор обратной связи C_5.
3. Конденсатор C_4, предохраняющий анодную батарею от короткого замыкания, в случае, если подвижные и неподвижные пластины конденсатора C_5 коснутся друг друга.
4. Дроссель *Др* высокой частоты, преграждающий путь высокочастотным токам к трансформатору низкой частоты.

Усиленные в первой ступени приемника колебания высокой частоты через конденсатор C_9 поступают на сетку детекторной лампы $Л_2$, работающей в режиме сеточного детектирования. Емкость этого конденсатора 200 *мкмкф* и величина сопротивления утечки $R_3 = 1$ *мгом* выбраны с учетом соображений, изложенных в § 28 настоящей главы.

В результате детектирования на сопротивлении R_3 возникает напряжение низких (звуковых) частот. Это напряжение усиливается лампой $Л_2$ и через трансформатор низкой частоты с коэффициентом трансформации 1 : 2 подается на сетку лампы оконечной ступени.

Конденсатор C_{11} образует свободный путь в землю для токов высокой частоты, проникших через дроссель *Др*.

Колебания высокой частоты, усиленные лампой $Л_2$, направляются в цепь обратной связи, состоящую из конденсаторов C_4 и C_5 и катушки L_5. Конденсатор C_4, как уже указывалось, имеет только вспомогательное назначение и не

влияет на работу схемы, так как его емкость (5 000 *мкмкф*) го много раз больше емкости конденсатора C_5 обратной связи (250 *мкмкф*).

Катушка обратной связи L_5 индуктивно связана с катушками L_3 и L_4 второго колебательного контура.

Регулируется обратная связь плавным изменением емкости переменного конденсатора C_5.

Составные элементы выходной ступени:

1. Пентод СО-244 или СБ-258 ($Л_3$).
2. Выходной (понижающий) трансформатор $Тр_2$ с коэффициентом трансформации 4 : 1.
3. Сопротивление смещения R_5.
4. Блокировочный конденсатор C_{13}.

Реостат накала R_6 регулирует ток, потребляемый нитями трех ламп одновременно.

Колебания низкой частоты со вторичной обмотки междулампового трансформатора $Тр_1$ подаются на сетку лампы выходной ступени. В качестве этой лампы может работать, как уже указывалось, либо пентод СО-244, либо пентод СБ-258. В последнем случае выходная мощность приемника примерно удваивается, однако при этом на 30—40% увеличивается расход тока батарей накала и анода.

Сопротивление громкоговорителя согласовывается с внутренним сопротивлением лампы при помощи выходного трансформатора, благодаря чему обеспечивается отдача большей неискаженной мощности. Смещение на сетку оконечной лампы задается автоматически за счет анодного тока при помощи сопротивления R_5.

Блокировочный конденсатор C_{13} предотвращает возможность паразитной связи между лампами через источники питания (через анодную батарею).

Приведем некоторые конструктивные данные приемника. Катушки колебательного контура L_1 и L_2 намотаны на общем каркасе диаметром 20 *мм*. Катушка L_1 имеет 80 витков, а катушка L_2 — 300 витков, провода ПЭШО — 0,15.

Катушки L_3 и L_4 имеют те же данные, что и катушки L_1 и L_2, и также намотаны на общем каркасе. Между этими катушками расположена обмотка катушки L_5 обратной связи. Основные данные всех катушек приведены на фиг. 155.

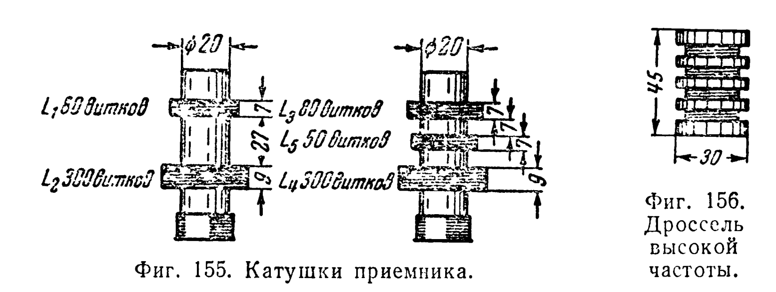
Все катушки многослойные и наматываются «внавал» или по типу «универсальной» намотки.

Конденсаторы переменной емкости C_2 и C_8 могут быть обычного типа, но лучше применять специальный агрегат,

представляющий собой два конденсатора, насаженных на общую ось.

В этом последнем случае настройка обоих колебательных контуров производится одновременно вращением одной ручки.

В случае применения сдвоенного конденсаторного агрегата и настройки приемника одной ручкой, как указывалось, должна быть обеспечена точно одинаковая настройка обоих контуров при любом положении ручки. Влияние антенны на настройку первого колебательного контура ис-



Фиг. 155. Катушки приемника.

Фиг. 156. Дроссель высокой частоты.

ключается, благодаря тому что емкость конденсатора C_1 выбрана очень малой. Поэтому при достаточно тщательном выполнении катушек обоих контуров (индуктивность которых должна быть одинакова) совпадение настроек обоих контуров будет обеспечено.

Дроссель *Др* высокой частоты имеет индуктивность около 50 *мгн*. Для его обмотки можно применять тот же провод ПЭШО — 0,15. Общее число витков дросселя 2 000—2 500; вся обмотка разбивается на 4—5 равных секций (фиг. 156).

33. ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

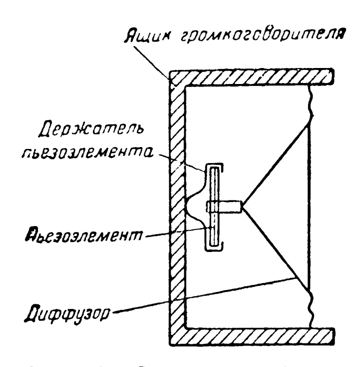
Громкоговоритель — последнее звено приемника. От качества работы громкоговорителя в очень сильной степени зависит качество воспроизведения звука. Плохой громкоговоритель может в конечном счете испортить работу хорошего приемника.

Для того чтобы правильно подобрать громкоговоритель к приемнику, нужно руководствоваться количественными характеристиками свойств громкоговорителя.

Важнейшая характеристика громкоговорителя — его номинальная мощность. Номинальная мощность громкогово-

рителя — это такая мощность подводимых к нему электрических колебаний звуковой частоты, при которой громкоговоритель работает без заметных нелинейных искажений (искажения не должны превышать 10%). Поэтому номинальную мощность называют иногда неискаженной мощностью громкоговорителя. Номинальная мощность громкоговорителя должна соответствовать мощности выходной ступени приемника.

Вторая характеристика громкоговорителя — полоса воспроизводимых звуковых частот. Ширина этой полосы у громкоговорителя должна также соответствовать частотной характеристике приемника.



Фиг. 157. Схема устройства пьезоэлектрического громкоговорителя.

Третья характеристика — коэффициент нелинейных искажений. При большом коэффициенте нелинейных искажений громкоговоритель может полностью исказить передачу даже при самом высококачественном приемнике.

В радиолюбительской практике встречаются следующих три вида громкоговорителей: 1) электромагнитные; 2) пьезоэлектрические; 3) электродинамические.

Устройство и принцип действия наиболее распространенного электромагнитного громкоговорителя типа «Рекорд» были описаны в первой части этой книги (глава девятая).

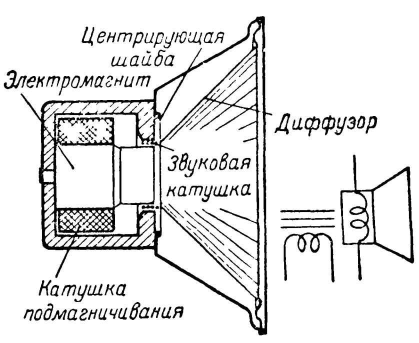
Принцип действия пьезоэлектрического громкоговорителя такой же, как принцип действия пьезоэлектрической телефонной трубки, описанной в первой части книги (глава девятая).

Схема устройства пьезоэлектрического громкоговорителя изображена на фиг. 157. Размеры пьезоэлемента 30 × 30 *мм*.

Качество воспроизведения звука электромагнитными и пьезоэлектрическими громкоговорителями невысоко. Они воспроизводят полосу частот от 250 до 2 000—3 000 *гц* и обладают неравномерной частотной характеристикой в пределах этой полосы.

Устройство электродинамического громкоговорителя («динамика») схематически изображено на фиг. 158. Внутри

железного стакана помещен сердечник электромагнита, на который надета «катушка возбуждения». Сверху стакан закрыт железной крышкой с круглым отверстием посредине. Диаметр этого отверстия несколько больше диаметра сердечника, поэтому между крышкой стакана и сердечником получается кольцевая щель (зазор). В этом кольцевом зазоре помещена легкая катушка («звуковая катушка»), скрепленная с диффузором громкоговорителя. По катушке возбуждения пропускается постоянный ток, питающий электромагнит. При этом в кольцевом зазоре образуется сильное магнитное поле. Если по звуковой катушке пропускать ток звуковой частоты, то возникнут силы взаимодействия между магнитным полем этого тока и постоянным магнитным полем в зазоре. В зависимости от направления тока звуковая катушка, прикрепленная к диффузору, будет выталкиваться из зазора то в одну сторону, то в другую, т. е. будет колебаться в такт с колебаниями питающего катушку тока звуковой частоты. Вместе с катушкой колеблется диффузор, а его колебания возбуждают в воздухе звуковые волны, которые воспринимаются нашим ухом как звук.



Фиг. 153. Схема устройства электродинамического громкоговорителя.

Описанный нами динамик, в котором постоянное магнитное поле создается током, протекающим по катушке возбуждения, называется динамиком с подмагничиванием. Вместо железного стакана с подмагничивающей катушкой иногда применяют постоянный магнит из специального сплава, дающего большую индукцию в зазоре. Такие громкоговорители называются динамиками с постоянными магнитами. Динамики с подмагничиванием применяют в приемниках с питанием от сети переменного тока, а динамики с постоянными магнитами — в батарейных приемниках[1].

Динамические громкоговорители могут обеспечить гораздо бóльшую громкость звучания и значительно лучшее

[1] последнее время динамические громкоговорители с постоянными ...гнитами почти полностью вытеснили динамики с подмагничиванием.

качество воспроизведения звука, чем электромагнитные или пьезоэлектрические. Коэффициент нелинейных искажений у динамиков значительно меньше, чем у электромагнитных и пьезоэлектрических громкоговорителей, а полоса пропускаемых частот много шире (от 70 до 6 000—8 000 *гц*).

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛАМПОВОГО ПРИЕМНИКА

34. ДЕТАЛИ ЛАМПОВОГО ПРИЕМНИКА

Устройство силовых трансформаторов и дросселей было описано в главе третьей. В первой части книги (глава седьмая) при описании деталей детекторного приемника мы уже касались устройства катушек и конденсаторов.

Единственным новым типом конденсаторов, с которым приходится сталкиваться радиолюбителю в ламповых приемниках, являются так называемые электролитические конденсаторы. В электролитическом конденсаторе обкладками являются алюминиевая пластина и электролит, в который эта пластина погружена (состав электролита бывает различный), диэлектриком служит тонкая пленка окисла, покрывающая алюминиевую пластину Чтобы обеспечить электрический контакт между второй обкладкой (электролитом) и внешней цепью, служит вторая чистая (не покрытая окислом) алюминиевая пластина. Слой окисла образуется на обкладке электролитически, т. е. при пропускании через погруженные в электролит пластины электрического тока. При этом образуется слой окисла только на пластине, которая служит положительным электродом (анодом). Если же приложить к пластинам напряжение обратной полярности, то слой окисла исчезает. Поэтому-то электролитические конденсаторы «имеют определенную полярность» — они обладают емкостью только в том случае, если положительный полюс приложенного к конденсатору внешнего напряжения соединен с пластиной, покрытой окислом.

Благодаря тому, что пленка окисла, образующаяся на алюминиевой пластине и служащая диэлектриком, чрезвычайно тонкая, емкость электролитического конденсатора получается очень большой (до тысяч микрофарад у конденсатора, имеющего размеры небольшого стаканчика). Внешний вид электролитического конденсатора изображен на фиг. 159. Именно возможность получения большой емкости при небольших наружных размерах и весе конденсатора является основным и важнейшим преимуществом электро-

литического конденсатора. Электролитический конденсатор обладает и рядом недостатков. Прежде всего, вследствие того что он обладает полярностью, его нельзя применять в цепях переменного тока. Поэтому электролитические конденсаторы применяются только в цепях постоянного или пульсирующего тока, например, в сглаживающих фильтрах выпрямителей, для получения большой постоянной времени в цепях АРУ (так как через сопротивление нагрузки диода течет все время ток одного направления) и т. д.

Другим существенным недостатком электролитических конденсаторов является большая утечка, так как оксидная пленка на поверхности алюминия не является идеальным диэлектриком и обладает проводимостью. Наконец, вследствие небольшой электрической прочности этой пленки электролитические конденсаторы не выдерживают очень больших напряжений — они делаются на разные напряжения, но не более 600 *в*.



Фиг. 159. Электролитический конденсатор; при небольших размерах он может иметь очень большую емкость.

Переходим к описанию наиболее употребительных типов постоянных и переменных сопротивлений.

В радиолюбительской аппаратуре вначале применялись только постоянные сопротивления типа ТО, выпускавшиеся отечественной промышленностью. Эти сопротивления представляют собой стеклянную трубочку, покрытую тонким проводящим слоем и запрессованную в пластмассу. Однако величина этих сопротивлений недостаточно стабильна.

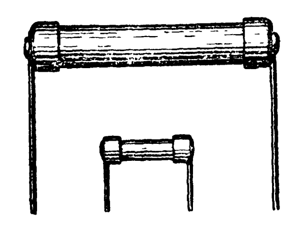
В настоящее время выпускаются более стабильные сопротивления с тонкой углеродистой пленкой, нанесенной на керамический цилиндрик. Снаружи сопротивление покрывается лаком (фиг. 160). Этот тип сопротивлений (ВС) имеет большую температурную устойчивость и влагостойкость.

Сопротивления типа ВС способны выдерживать температуру до 100° С, не изменяя при этом заметно величины самого сопротивления. Влагостойкость сопротивлений типа ВС столь высока, что они могут работать при любой влажности воздуха.

Сопротивления типа ВС выпускаются различной величины — от 10 *ом* до ' *мгом* и в зависимости от размеров

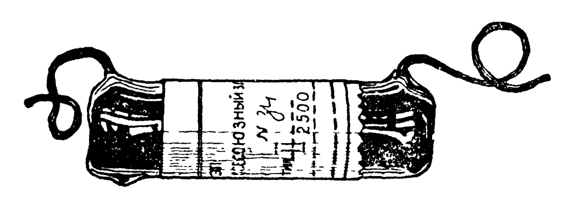
могут рассеивать следующие мощности· 0,25, 0,5, 1, 2, 5 и 10 *вт*.

В цепях большой мощности, например в делителях напряжения, применяются проволочные остеклованные сопротивления. Остеклованное сопротивление представляет собой керамическую трубку с намотанной на нее константановой или нихромовой проволокой. Снаружи сопротивление покрывается слоем эмали. Внешний вид остеклованного сопротивления изображен на фиг. 161. Остеклованные сопротивления делаются величиной от 50 до 50 000 *ом* и на мощность рассеяния от 15 до 150 *вт*. Они выдерживают температуру до 300° С.



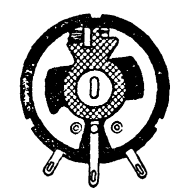
Фиг. 160. Сопротивление типа ВС.

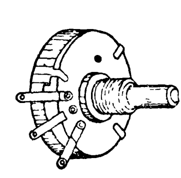
Переменные сопротивления также могут быть проволочными и непроволочными. Проволочные переменные сопротивления применяются в качестве реостатов накала, а непроволочные — в качестве регуляторов громкости и тембра.



Фиг. 161. Остеклованное сопротивление.

Реостаты накала обычно обладают сопротивлением 5, 10, 15, 20 и 25 *ом*. Непроволочные переменные сопротивления (ТК, ВК и другие) выпускаются на мощности 0,2, 0,4 и 1 *вт*. Устройство этих сопротивлений изображено на фиг. 162.





Фиг. 162. Непроволочные переменные сопротивления.

Зависимость величины переменного сопротивления от угла поворота ручки может быть линейной (сопротивление прямо пропорционально углу поворота ручки против часовой стрелки) или логарифмической (углу поворота ручки пропорционален логарифм сопротивления). Линейные сопро-

тивления применяются в регуляторах тембра, а логарифмические — в регуляторах громкости. Необходимость применения в регуляторах громкости логарифмических переменных сопротивлений обусловлена теми особенностями нашего слухового аппарата, о которых мы говорили во второй главе первой части нашей книги.

35. РАЗМЕЩЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА ШАССИ

При размещении деталей будущего приемника на шасси следует исходить из того, что все соединительные проводники должны быть, по возможности, короче. Особенно это относится к проводникам, по которым должны протекать токи высокой частоты. Во избежание паразитной связи между входом и выходом приемника не следует размещать рядом входную и выходную лампы приемника. Все детали, относящиеся к одной ступени, должны быть сгруппированы вблизи соответствующей лампы.

Во избежание влияния магнитного поля силового трансформатора на междуламповый нельзя располагать эти детали рядом друг с другом. Необходимо разнести их как можно дальше и установить так, чтобы их сердечники не были параллельны между собой.

Динамик и переменный конденсатор также не рекомендуется помещать рядом.

При несоблюдении изложенных выше указаний может возникнуть самовозбуждение приемника через электрические или акустические связи или появиться фон переменного тока.

Группируя детали вокруг определенных ламп, не следует допускать слишком большой скученности деталей, так как это затруднит в дальнейшем ремонт приемника. Нужно стремиться к тому, чтобы любую деталь можно было отпаять и изъять из схемы, не нарушая остального монтажа.

Некоторые детали и лампы при работе приемника будут сильно нагреваться (например, силовой трансформатор, выходная лампа и др.). Вблизи таких деталей и особенно над ними нельзя располагать электролитические конденсаторы, катушки и сопротивления.

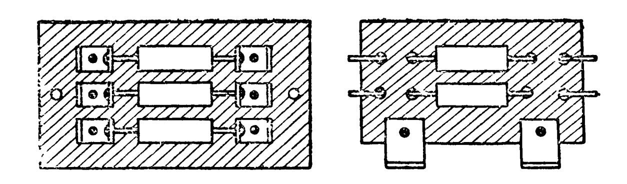
При размещении деталей следует иметь в виду удобство управления приемником. С этой целью все основные ручки управления приемником необходимо размещать на передней панели и, по возможности, симметрично. Обычно на передней панели приемника располагают переключатель диапазонов, регуляторы громкости и тембра и ручку на-

стройки. На задней стороне шасси размещают зажимы для подключения источников питания, антенны и заземления.

Все электрические соединения должны производиться под горизонтальной панелью. Поэтому выводы от всех деталей, расположенных над горизонтальной панелью, должны быть пропущены вниз под панель.

Крепление всех деталей к шасси должно быть прочным и надежным. Лучше всего прикреплять детали при помощи винтов с гайками. Во избежание ослабления гаек следует закреплять их контргайками.

Особенно прочно следует укреплять ламповые панельки, чтобы они не оторвались при вынимании ламп. Основатель-



Фиг. 163. Текстолитовые стоечки для прикрепления сопротивлений и конденсаторов.

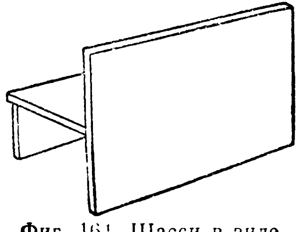
но должны быть укреплены также наиболее тяжелые детали (трансформаторы, дроссели фильтра и др.), а также переменные сопротивления и переключатели.

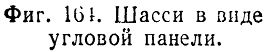
Большие бумажные и электролитические конденсаторы прикрепляют к шасси скобами из листового алюминия или жести. Электролитические конденсаторы следует устанавливать в вертикальном положении, причем так, чтобы обеспечивался надежный электрический контакт между корпусом конденсатора и шасси приемника (усилителя).

Переменный конденсатор и панелька детекторной лампы в батарейном приемнике должны быть амортизированы при помощи резиновых прокладок. Это необходимо для предотвращения возникновения микрофонного эффекта и акустической обратной связи. С этой же целью между держателем диффузора динамика и его отражательной доской применяется в виде прокладки войлочное кольцо.

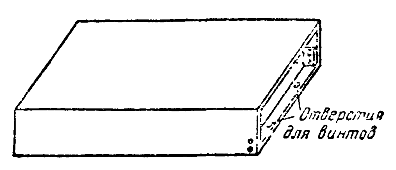
Мелкие детали (сопротивления и конденсаторы) можно крепить непосредственно к монтажным проводам, однако лучше, особенно при большом их количестве, установить для этой цели специальные текстолитовые стоечки (фиг. 163).

Для первой конструкции приемника размеры шасси лучше взять побольше, чтобы монтаж не был тесным. Материал для шасси — фанера или листовой алюминий. Фор-





Фиг. 164. Шасси в виде угловой панели.



Фиг. 165. Шасси в виде П-образной конструкции.

ма — угловая панель (фанерная) или прямоугольная П-образная (алюминиевая). Устройство таких шасси изображено на фиг. 164 и 165.

36. ПАРАЗИТНЫЕ СВЯЗИ

Наличие паразитных связей в приемнике служит причиной искажений его частотной характеристики и во многих случаях — причиной свиста или воя.

При наличии паразитной связи электрические колебания наряду с передачей их от предыдущей ступени к последующей возвращаются обратно — от последующей ступени к предыдущей. В результате возникает обратная связь между выходом и входом лампы или группы ламп и схема либо оказывается на пороге генерации, либо начинает генерировать.

Опасность самовозбуждения схемы тем больше, чем выше даваемое ею усиление. При большом усилении достаточно незначительной паразитной связи, чтобы возникла генерация.

Самовозбуждение схемы может наступить в результате электростатической, магнитной, акустической связи или связи через общие источники питания.

Рассмотрим наиболее распространенные причины паразитных связей.

Связь через общий источник питания анодных цепей является основным видом паразитной связи в усилителях низкой частоты. Если не приняты специальные меры, то через источник питания анодных цепей (например, через анодную батарею) будут проходить не только постоянные

составляющие анодных токов всех ступеней усилителя, но и их переменные составляющие.

Так как всякий источник питания обладает внутренним сопротивлением, то переменные составляющие анодных токов создают переменные напряжения на зажимах источника анодного напряжения. Поэтому какая-то часть усиленного напряжения попадет из анодной цепи мощной ступени в анодную цепь предварительной ступени. При благоприятном соотношении фаз это напряжение сложится с основным усиливаемым напряжением и возникнут условия, аналогичные тем, которые существуют в регенераторе. При достаточно сильной обратной связи между анодными цепями двух ступеней в схеме наступит самовозбуждение.

Самовозбуждение более вероятно при анодной батарее с большим внутренним сопротивлением и при повышенном анодном напряжении.

Схема всегда самовозбуждается на той частоте, на которой соблюдается благоприятное соотношение фаз. Поэтому при самовозбуждении обычно возникает звук определенного тона.

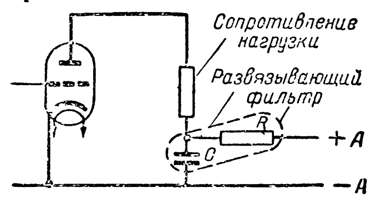
Наиболее употребительным способом борьбы с самовозбуждением через источники питания является шунтирование этих источников конденсаторами большой емкости (в несколько микрофарад). Однако этот способ оказывается мало эффективным в том случае, если усилитель хорошо усиливает очень низкие частоты. На этих частотах емкостное сопротивление даже конденсатора большой емкости оказывается больше сопротивления батареи и поэтому усилитель может самовозбудиться. Частота генерации в этом случае получается очень низкой, всего несколько герц.

Для уничтожения такой генерации полезно уменьшить усиление на самых низких частотах, что совершенно не отразится на качестве воспроизведения звука.

Опасность обратной связи через источник анодного напряжения почти исключается в двухтактных усилителях, так как при увеличении тока в одном плече двухтактной ступени ток в другом плече этой же ступени уменьшается. Отсюда следует, что потребление тока от источника анодного напряжения остается почти неизменным или во всяком случае изменяется в гораздо меньших пределах, чем в однотактных усилителях, а это значит, что переменная составляющая анодного тока, протекающая через источник анодного напряжения, очень мала и, следовательно, на зажимах

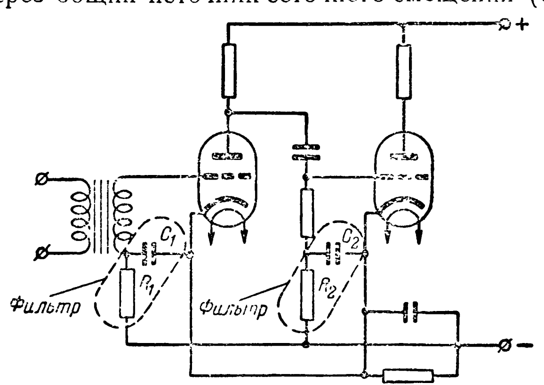
источника не возникает сколько-нибудь заметного переменного напряжения.

В тех случаях, когда шунтирование анодной батареи или выпрямителя конденсатором не достигает цели, применяют развязывающие фильтры. Развязывающий фильтр состоит из сопротивления R и конденсатора C (фиг. 166). Роль развязывающего фильтра состоит в том, чтобы обеспечить легкий путь переменной составляющей анодного тока через конденсатор C фильтра, минуя анодную батарею.



Фиг. 166. Переменная составляющая тока проходит через конденсатор.

Одновременно с этим высокоомное сопротивление R преграждает для переменной составляющей путь в батарею. Развязывающие фильтры ставят не только в анодных, но и в сеточных цепях схем для предотвращения паразитных связей через общий источник сеточного смещения (фиг. 167)



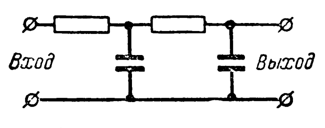
Фиг. 167. Развязывающий фильтр в цепи сетки.

При подборе величин сопротивления и емкости развязывающего фильтра следует иметь в виду, что произведение сопротивления в омах и емкости в фарадах должно быть больше периода паразитной генерации, выраженного в секундах. Отсюда следует, что в усилителях низкой частоты следует применять конденсаторы большой емкости, а в усилителях высокой частоты — конденсаторы малой емкости, так как величина сопротивления в обоих случаях ограничивается допустимым падением напряжения на нем.

В развязывающих фильтрах, предназначенных для токов высокой частоты, следует применять безиндукционные конденсаторы, так как в противном случае фильтр не будет действовать на высоких частотах.

В случае недостаточности одного фильтра последовательно с ним ставят второй (фиг. 168).

В усилителях высокой частоты возможно возникновение паразитной связи из-за наличия емкости между какими-нибудь деталями или проводами схемы. Например, если два проводника, принадлежащих к различным ступеням усилителя, проложены рядом друг с другом, то взаимная емкость этих проводников может оказаться достаточной для самовозбуждения схемы.



Фиг. 168. Двухзвенный развязывающий фильтр.

Очень часто причиной самовозбуждения является емкость между анодом и сеткой усилителя высокой частоты, особенно, если эта емкость увеличена за счет монтажа схемы. Самовозбуждение за счет емкости анод — сетка возможно только при индуктивном характере анодной нагрузки.

Наблюдались иногда случаи, когда приемник возбуждался на высокой частоте вследствие емкостной связи между шнуром громкоговорителя и антенной приемника. Колебания высокой частоты проникали на выход приемника благодаря плохим развязкам.

Иногда усилители высокой частоты самовозбуждаются вследствие того, что на некотором небольшом участке токи различных ступеней проходят по одному общему проводнику. На высоких частотах всякий даже небольшой проводник представляет собой индуктивное сопротивление, поэтому он может служить причиной обратной связи так же, как внутреннее сопротивление анодной батареи. Поэтому в частности, и рекомендуют избегать при монтаже длинных проводников.

Наконец, последняя причина паразитной связи в приемнике — это акустическая (звуковая) связь через воздух и через стенки ящика приемника. Громкоговоритель создает звуковые колебания, которые через воздух или через стенки ящика передаются детекторной лампе или пластинам переменного конденсатора. Механические колебания электродов лампы или пластин конденсатора вызывают, в свою оче-

редь, колебания анодного тока лампы и т. д. Таким образом, акустическая связь может привести к возникновению обратных связей в приемнике, а вместе с тем к самовозбуждению колебаний В результате в громкоговорителе возникает вой или гудение.

37. ЭКРАНИРОВАНИЕ

Экранирование деталей и узлов приемника наряду с рациональным монтажем и применением развязывающих фильтров является очень мощным средством предотвращения паразитных связей.

Следует различать экранирование с целью защиты от высокочастотных электрических и магнитных полей и экранирование с целью защиты от переменных магнитных полей низкой частоты. Экранирование от высокочастотных полей производится путем заключения защищаемой детали или узла приемника в закрытый со всех сторон алюминиевый или латунный экран. Защита от магнитных полей низкой частоты осуществляется железными экранами.

Из отдельных элементов приемника экранируются обычно катушки, лампы и трансформаторы. Кроме того, очень полезно заключить всю схему приемника в закрытый со всех сторон металлический или металлизированный экран. Роль этого экрана могут с успехом выполнить шасси и ящик приемника при условии обивки ящика (и шасси, если оно не металлическое) изнутри фольгой или оклейки станиолем. Необходимо только обеспечить, по возможности, плотное прилегание шасси к стенкам ящика.

Экранирование катушек производится при помощи цилиндрических алюминиевых или латунных стаканчиков, которые должны полностью закрывать катушки, плотно прилегать своей открытой стороной к металлической поверхности шасси и иметь с ней хороший электрический контакт.

Следует иметь в виду, что в результате экранирования индуктивность катушки уменьшается по следующим причинам. Под действием переменного магнитного поля катушки в металле экрана возникают вихревые токи, магнитное поле которых направлено всегда навстречу магнитному полю катушки. Поэтому результирующее магнитное поле ослабляется, а это и значит, что индуктивность катушки уменьшается. Сила вихревых токов тем больше и уменьшение индуктивности тем более заметно, чем теснее экран. Так, при диаметре экрана, в полтора раза большем диаметра катушки,

индуктивность ее уменьшится на 30%, а при диаметре экрана, равном двум диаметрам катушки, — на 12%. Кроме того, на поддержание вихревых токов затрачивается энергия, и поэтому экран увеличивает потери в колебательном контуре. Однако при латунных или алюминиевых экранах это увеличение потерь незначительно. Потери, вносимые экраном, тем меньше, чем больше экран (чем дальше стенки экрана от катушки).

Отверстия в экране для выводов катушки не ухудшают качества экранировки, — не следует только прорезать в экране для этой цели длинных щелей, параллельных оси катушки.

Большинство современных радиоламп имеет металлический или металлизированный баллон и поэтому не нуждается в специальной экранировке. Лампы же со стеклянным, не металлизированным баллоном, особенно работающие в ступенях высокой частоты, необходимо экранировать так же, как катушки, или при помощи оклейки станиолем, с обязательным заземлением последнего.

Междуламповые трансформаторы экранируются с помощью железных кожухов, являющихся составными элементами конструкции трансформаторов.

Очень часто применяется экранирование вторичных обмоток силового трансформатора от его сетевой обмотки; это делается для защиты от проникновения в приемник всевозможных помех из электрической сети. Однако в этом случае нельзя применять сплошного экрана между обмотками, так как в таком экране возникли бы очень сильные токи (охватывая витки трансформатора, экран вместе с тем охватывал бы весь переменный магнитный поток). Поэтому с целью экранировки в силовом трансформаторе между сетевой и остальными обмотками трансформатора прокладывается холостая обмотка, один конец которой заземляется. Следует отметить, что эта обмотка успешно выполняет свою роль только на средних и длинных волнах. Для защиты от промышленных помех, проникающих из сети в приемник на коротковолновом диапазоне, лучше проложить между сетевой и остальными обмотками незамкнутый заземленный листок станиоля или фольги.

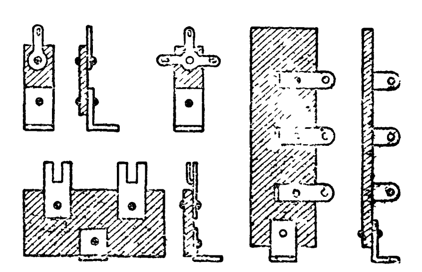
В приемнике следует экранировать не только детали, но и многие из соединительных проводов. Особенно это относится к проводам, идущим к регулятору громкости и к звукоснимателю, а также к проводам, соединяющим сеточные колпачки ламп со схемой. Для экранирования проводов на

них надевается металлический «чулок», сплетенный из очень тонких проволочек. Этот чулок обязательно должен быть заземлен, т. е. соединен с шасси.

Существует широко распространенное мнение, что заземление (т. е. соединение с землей) шасси существенно улучшает защиту приемника от внешних электромагнитных полей. Следует заметить, что если приемник хорошо заэкранирован, то заземление шасси не улучшит и не ухудшит положения дела.

38. ПРАВИЛА МОНТАЖА

Разместив на шасси приемника наиболее крупные детали, следует заняться подготовкой их соединения между собой согласно схеме. В процессе монтажа очень многие соединения производятся при помощи выводов, имеющихся у постоянных сопротивлений и конденсаторов. Необходимо заранее проверить, как лучше всего произвести эти соединения. Попутно следует проверить, все ли сопротивления подходят по своей мощности, а конденсаторы по напряжению и емкости к предназначаемым для них местам в схеме.



Фиг. 169. Текстолитовые стоечки для припайки проводов.

При предварительной прикидке будущего монтажа следует учесть, к каким местам схемы будет подходить особенно много проводов, и заранее установить в соответствующих местах шасси специальные текстолитовые стоечки с металлическими лепестками для припайки к ним этих проводов (фиг. 169). В некоторых случаях для этой цели можно использовать холостые лепестки ламповых панелек. Установку стоечек следует производить с расчетом, чтобы ни в одной спайке не сходилось более трех проводников. В противном случае будет затруднен ремонт приемника в будущем. Стоечки следует устанавливать также для поддерживания очень длинных неизолированных проводников с целью придания большей жесткости монтажу.

В некоторых случаях, когда детали с очень короткими выводами устанавливаются в труднодоступных местах, ре-

комендуется припаивать к ним проводники заранее, до установки таких деталей на место. Также заранее следует залуживать выводы у всех деталей.

Монтаж схемы надо начинать с наиболее труднодоступных мест. В первую очередь следует проложить самые длинные проводники, например шинку заземления, провода цепи накала и др.

Провод для монтажа можно взять как изолированный, так и голый. Изолированный провод предпочтительнее в случае сложных схем, простые же схемы можно полностью монтировать голым проводом. Необходимо только обеспечить достаточную жесткость монтажа и изолировать провода в местах пересечений.

Основные вопросы техники монтажа изложены в первой части этой книги, поэтому нет необходимости здесь останавливаться на них.

При монтаже лампового приемника следует исходить из того принципа, что все токи высокой частоты или звуковой частоты должны замыкаться внутри данной ступени. За пределы данной ступени должны выходить только те токи, которые используются в других ступенях. Провода питания данной ступени должны быть с этой целью «развязаны», т. е. защищены развязывающими фильтрами.

Конденсаторы развязывающих фильтров не должны иметь длинных выводов, а сопротивления этих фильтров не должны располагаться близко к экрану. Длинные проводники, соединяющие конденсатор развязывающего фильтра со схемой, представляют собой на высоких частотах индуктивные сопротивления и снижают эффективность развязывающего фильтра. Расположение сопротивлений фильтров вблизи экрана создает паразитную емкость, шунтирующую сопротивление.

Любой провод, входящий в какой-либо экранированный отсек или проходящий из одного экранированного отсека в другой, снижает надежность экранировки даже в том случае, если он не соединен с заэкранированными деталями. Поэтому следует избегать при монтаже таких проводов, которые проходили бы сквозь экраны без необходимости (т. е. не служили бы для соединения с деталями, расположенными внутри экрана).

Контуры высокой частоты следует заземлять в одной точке и, по возможности, короткими проводниками. Ни в коем случае нельзя прокладывать рядом проводники, по которым проходят токи высокой частоты различных ступе-

ней. Нельзя также близко располагать друг к другу входные и выходные проводники усилителя высокой частоты. Провода, идущие от анода и сетки одной и той же лампы, следует разводить в разные стороны, чтобы не увеличивать паразитной емкости анод — сетка.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЕ ПРИЕМНИКИ

39. НЕДОСТАТКИ ПРИЕМНИКОВ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

В рассмотренных нами приемниках прямого усиления применяется только один тип преобразователя колебаний — детектор, преобразующий модулированные колебания высокой частоты в колебания низкой частоты. В соответствии с этим и усиление в таких приемниках осуществляется либо на высокой частоте (частоте принимаемой станции), либо на низкой (звуковой) частоте. Но как уже указывалось ранее, путем усиления на низкой частоте можно повысить только громкость приема, но не чувствительность приемника. Возможность же усиления колебаний на высокой частоте ограничена сравнительно небольшими пределами (из-за опасности возникновения паразитных колебаний), особенно, если эта частота лежит в коротковолновой части радиовещательного диапазона, а тем более в области коротких волн. С другой стороны, единственный пригодный для этих частот тип усилителя — это резонансный усилитель. Но необходимость перестройки всех контуров усилителя при переходе от одной станции к другой очень усложняет конструкцию приемника и обращение с ним.

Кроме того, при увеличении числа ступеней усиления высокой частоты резко повышается неравномерность усиления как в различных диапазонах, так и в пределах одного диапазона.

Наконец, при увеличении числа ступеней усиления высокой частоты кривая избирательности приемника становится настолько острой, что он «отстраивается» даже от некоторой части боковых частот принимаемой станции, т. е. не пропускает полностью весь спектр частот модулированного сигнала (о спектре частот модулированного сигнала см. ч. 1, гл. 2).

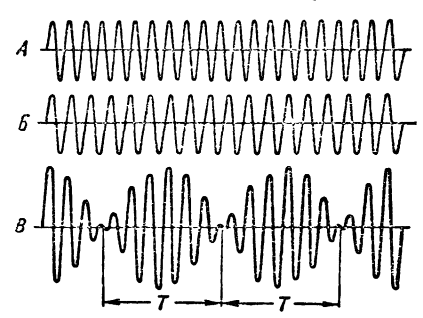
Однако, несмотря на такую, казалось бы, сверхизбирательность, приемник прямого усиления практически никогда не сможет обеспечить хорошую отстройку от мощной мест-

ной станции, не очень значительно отличающейся по частоте от принимаемой, из-за того, что, несмотря на острую вершину кривой резонанса, ветви этой кривой сравнительно далеко простираются как в сторону более низких, так и в сторону более высоких частот.

Все эти недостатки могут быть устранены одним и тем же способом — преобразованием любой частоты принимаемой станции — всегда к одной и той же фиксированной частоте. Эта частота выбирается достаточно низкой, обычно в пределах средневолнового диапазона, чтобы на ней можно было получить хорошее усиление, и на эту фиксированную частоту настраивается резонансный усилитель. Этот именно метод и применяется в супергетеродинных приемниках. Та фиксированная частота, на которой осуществляется усиление в супергетеродинном приемнике, называется обычно промежуточной частотой.

40. ПРИНЦИП РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Чтобы легче было понять принцип, который применяется в супергетеродинных приемниках для преобразования принимаемой частоты в промежуточную, познакомимся более подробно с одним явлением, с которым мы уже встречались при рассмотрении регенератора (глава пятая), а именно с явлением биений.



Фиг. 170. При сложении двух колебаний с разными частотами амплитуда результирующего колебания периодически изменяется.

Биения возникают при сложении двух или нескольких немодулированных колебаний с различными периодами. Проследим графически картину сложения двух колебаний (фиг. 170, *А* и *Б*). При сложении колебаний двух различных частот амплитуда результирующего колебания *В* будет то возрастать, то убывать. Происходит это по той причине, что из-за различия в периодах фазы этих двух колебаний изменяются с различной скоростью. Если, допустим, в первый момент фазы обоих колебаний одинаковы и мгновенные значения токов складываются, то по истечении некоторого промежутка времени фазы колебаний окажутся сдвинутыми на

180° и мгновенное значение одного тока будет противоположно мгновенному значению другого тока. Мгновенное значение результирующего тока будет равно разности мгновенных значений обоих токов. Еще через такой же промежуток времени фазы токов снова совпадут и т. д.

В итоге результирующее колебание будет иметь вид, несколько напоминающий модулированные колебания (фиг. 170,*B*). Эти сложные колебания носят название биений.

В кривой *B* легко заметить новый период — именно период биений, который на фиг. 170 отмечен буквами *T*. Сразу видно, что период этих биений больше, чем период каждого из слагаемых колебаний, и, следовательно, частота биений меньше, чем частота каждого из слагаемых колебаний. Частота биений равна разности частот двух слагаемых колебаний. Чем больше разность между этими частотами, тем больше частота биений; поэтому, выбрав достаточно большую разницу между слагаемыми частотами, мы можем получить биения высокой частоты.

Так же как при детектировании из модулированных колебаний (которые можно рассматривать как «биения» между несущей частотой и боковыми частотами), выделяется низкая частота, равная разности частот несущей и боковой, т. е. частота модуляции, из биений при детектировании выделяются колебания разностной частоты, равной разности двух слагаемых частот.

Этот метод преобразования частот называют методом смещения или методом гетеродинирования.

С явлением биений большинство радиолюбителей встречалось при настройке регенеративного приемника «на свист» Свист регенератора и есть не что иное, как продетектированные биения, созданные собственными колебаниями регенератора и колебаниями принимаемой станции.

Благодаря биениям при помощи регенератора становится возможным прием на слух немодулированных телеграфных сигналов

В профессиональных приемниках для приема телеграфных не модулированных сигналов применяется отдельный ламповый генератор, называемый гетеродином. Колебания гетеродина вместе с колебаниями приходящих сигналов образуют биения звуковой частоты, которые после детектирования слышны в телефоне.

Принцип супергетеродинного радиоприема очень похож на принцип гетеродинного приема. Разница состоит лишь

в том, что частота биений, образуемых местным гетеродином и принимаемым сигналом, лежит не в области звуковых частот, а в области радиочастот. Достигается это тем, что гетеродин настраивается на частоту, значительно отличающуюся от частоты принимаемого сигнала.

В супергетеродинных приемниках настройка гетеродина делается переменной. Как правило, конденсатор контура гетеродина и конденсаторы контуров высокой частоты вращаются общей ручкой. При этом при любых настройках приемника обеспечивается все время одна и та же разность между частотой гетеродина и частотой настройки контуров высокой частоты. Благодаря этому частота биений, образуемых гетеродином и принимаемым сигналом, остается все время одной и той же независимо от настройки приемника на ту или иную станцию.

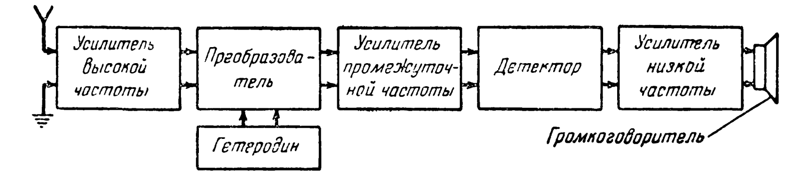
Обычно в приемниках, предназначенных для приема радиовещательных станций, частота биений выбирается около 460 *кгц*. Это соответствует длине волны приблизительно в 650 *м*, лежащей в «провале» между длинноволновым и средневолновым диапазонами. На эту частоту настраивается резонансный усилитель супергетеродина.

Таким образом, при настройке супергетеродина частота усиливаемых колебаний «подгоняется» под постоянную настройку резонансного усилителя. В этом заключается одно из важнейших преимуществ супергетеродина, так как вместо настройки многих междуламповых контуров приходится настраивать только один контур гетеродина и один-два контура высокой частоты.

Получаемая после преобразования фиксированная частота, как уже указывалось, называется промежуточной. Усиление колебаний этой частоты производится при помощи обычного резонансного усилителя, настроенного раз навсегда на промежуточную частоту. Этот усилитель называется усилителем промежуточной частоты. Усилитель промежуточной частоты содержит одну, две, а иногда и три ступени резонансного усиления — обычно на настроенных трансформаторах. Нередко настраиваются не одна, а обе обмотки трансформаторов, чем достигается более выгодная в отношении избирательности форма резонансных кривых. Такие трансформаторы с обеими настроенными обмотками получили название полосовых фильтров. Все фильтры при помощи «полупеременных» конденсаторов или магнититовых сердечников раз навсегда настраиваются на промежуточную частоту таким образом, чтобы весь усилитель промежуточной ча-

стоты давал достаточное усиление и возможно большую избирательность.

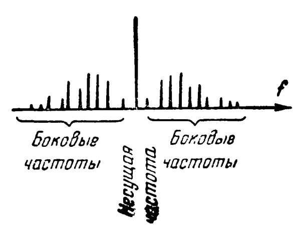
Мы рассмотрели преобразование немодулированных приходящих колебаний; сделано это было для упрощения. При



Фиг. 171. Скелетная схема супергетеродинного приемника.

приеме модулированных колебаний, поскольку колебания гетеродина имеют постоянную амплитуду, в полученных биениях, а также и в колебаниях промежуточной частоты изменения амплитуды будут соответствовать изменениям амплитуды приходящих колебаний, т. е. колебания промежуточной частоты будут промодулированы так же, как и приходящие колебания. Чтобы превратить эти модулированные колебания в звуковые, их нужно еще раз пропустить через детектор.

Поэтому колебания промежуточной частоты после усиления подводятся ко второму детектору и уже после него полученные звуковые колебания направляются в усилитель низкой частоты. Таким образом, скелетная схема супергетеродинного приемника приобретает вид, показанный на фиг. 171.



Фиг. 172. Спектр частот модулированного колебания.

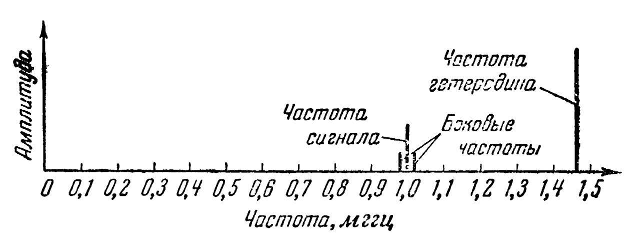
Теперь рассмотрим картину прохождения через супергетеродинный приемник модулированного сигнала.

Примерная картина спектра частот модулированного сигнала изображена на фиг. 172. Высота вертикальных черточек на этой фигуре соответствует амплитудам составляющих колебаний. В середине расположена несущая частота. Ее амплитуда даже при 100% модуляции превышает амплитуду любой из боковых частот больше чем в 2 раза.

Для простоты предположим, что несущая модулируется на передающей станции только одной звуковой частотой. Тогда спектр модулированного колебания будет иметь более простой вид. В приемнике к этому сигналу «примешивается»

частота гетеродина, отличающаяся от принимаемой частоты на промежуточную частоту (в нашем случае на 460 *кгц*). При этом амплитуда колебаний гетеродина должна быть в несколько раз больше амплитуды принимаемой несущей. В результате частотный спектр колебаний подводимых к преобразователю частот будет иметь вид, изображенный на фиг. 173.

Так как принимаемый сигнал состоит теперь не из одной частоты, а из трех (одна несущая и две боковые), то в результате смешения их с частотой гетеродина возникнут три



Фиг. 173. Спектр частот сигнала и гетеродина.

частоты биений. Это будут, во-первых, биения частоты гетеродина с несущей, частота которых равна 460 *кгц*, и, во-вторых, биения частоты гетеродина с каждой из боковых частот. Амплитуды этих вторых биений будут значительно меньшей величины, чем биения с несущей, а частоты их будут отличаться от 460 *кгц* как раз на такую же величину, на какую боковые частоты принимаемого сигнала отличались от несущей.

В самом деле, пусть несущая частота принимаемого сигнала равна 1 000 *кгц*, а боковые частоты равны 1 001 и 999 *кгц*.

Одновременно с настройкой приемника на частоту 1 000 *кгц* гетеродин приемника при «одноручечном» управлении окажется настроенным на частоту 1 460 *кгц*. Следовательно, частота биений колебаний гетеродина с колебаниями несущей будет равна:

$$f = 1\,460 - 1\,000 = 460 \text{ кгц}.$$

Частота биений с первой боковой частотой будет:

$$f = 1\,460 - 999 = 461 \text{ кгц}.$$

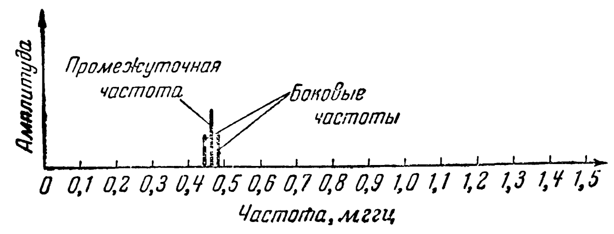
Частота биений со второй боковой частотой

$$f = 1\,460 - 1\,001 = 459 \text{ кгц}.$$

После преобразования частот аналогично тому, как это происходит при детектировании, биения с частотами 459, 460 и 461 *кгц* дадут три колебания с такими же частотами.

Нетрудно видеть, что после смешения модулированного колебания с колебаниями гетеродина и последующего преобразования в детекторе получается точно такой же частотный спектр, как и частотный спектр сигнала, но только перемещенный в область более низких частот (фиг. 174).

Роль несущей теперь выполняет промежуточная частота 460 *кгц*, а роль боковых—частоты 459 и 461 *кгц*, отличающиеся от несущей, как и прежде, на 1 000 *гц*.



Фиг. 174. Спектр сигнала после преобразования.

Поскольку частотный спектр сигнала при преобразовании не изменился и сохранились те соотношения между амплитудами в новой несущей и боковых, которые имели место в принимаемом сигнале, следовательно, закон модуляции сигнала, преобразованного к промежуточной частоте, совпадает с законом модуляции принимаемого сигнала.

Дальнейший процесс прохождения модулированного сигнала через супергетеродинный приемник будет таким же, как и через обычный приемник прямого усиления, причем усилитель промежуточной частоты будет играть роль усилителя высокой частоты в обычном приемнике, а второй детектор — роль обычного детектора, имеющегося в каждом приемнике прямого усиления.

41 ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИННЫХ ПРИЕМНИКОВ

В супергетеродинном приемнике можно сравнительно легко получить очень большое усиление сигнала до его детектирования (до второго детектора). Объясняется это, во-первых, тем, что усиление в супергетеродинном приемнике производится на двух разных частотах — на высокой и на промежуточной, в силу чего уменьшается опасность самовозбуждения приемника из-за паразитных связей. Кро-

ме того, некоторое усиление получается также и в самом преобразователе частоты.

В связи с тем, что к преобразователю сигнал подводится уже наложенным на колебания гетеродина, амплитуда которого обычно значительно больше амплитуды сигнала, то преобразователь не имеет порога чувствительности, свойственного детекторам, и способен преобразовывать более слабые сигналы, лишь бы они превышали уровень шумов на его входе.

Благодаря этому обстоятельству усиление высокой частоты в супергетеродинном приемнике может быть ограничено всего лишь одной ступенью или даже совсем отсутствовать. Поэтому основное усиление обычно производится на промежуточной частоте, где оно легко осуществляется с помощью контуров с неизменной (фиксированной) настройкой.

В приемниках прямого усиления очень трудно осуществить достаточно большое усиление на высоких частотах в диапазоне средних и особенно коротких волнах, так как усиление на столь высоких частотах связано с большими трудностями.

В супергетеродинном приемнике эта трудность отсутствует в связи с тем, что в нем основное усиление производится на сравнительно низкой промежуточной частоте.

Благодаря этому чувствительность супергетеродинного приемника почти одинакова по всему диапазону волн.

Большой запас усиления, имеющийся в супергетеродинных приемниках, позволяет осуществить в них автоматическую регулировку усиления (что обычно и делается).

Последнее особенно важно при приеме коротких волн, когда сильно проявляются замирания сигналов. Приемник с автоматической регулировкой усиления дает наибольшее усиление в моменты замираний сигнала и уменьшает усиление автоматически, когда сила сигнала возрастает. Благодаря этому громкость на выходе приемника изменяется в очень незначительных пределах, несмотря на то, что уровень сигнала на его входе изменяется в сотни и тысячи раз.

Наконец, избирательность супергетеродинного приемника, особенно на коротких и средних волнах, значительно выше избирательности приемника прямого усиления Это объясняется тем, что для промежуточной частоты легче осуществить контуры с хорошей избирательностью, чем для высоких радиочастот.

Благодаря тому, что в супергетеродине усиление производится все время на одной и той же частоте, в нем возмож-

но применение полосовых фильтров с крутыми спадами кривой избирательности по обе стороны от полосы пропускания. Это еще больше увеличивает избирательность приемника и улучшает вместе с тем его частотную характеристику, так как боковые частоты не ослабляются по сравнению с несущей, что имеет место при применении обычных резонансных контуров.

Казалось бы, что благодаря отсутствию порога чувствительности у первого детектора (или преобразователя) возможно строить супергетеродинные приемники вовсе без усиления высокой частоты и даже без применения настраивающегося приемного контура до преобразователя. Тогда кон-



Фиг. 175. Основной и зеркальный каналы.

струкция супергетеродина чрезвычайно бы упростилась, так как в нем имелся бы всего только один элемент настройки — колебательный контур гетеродина.

Однако наличие по меньшей мере одного настраивающегося контура на высокой частоте в супергетеродине совершенно необходимо.

Дело в том, что биения промежуточной частоты с колебаниями гетеродина могут создаваться не только сигналом, частота которого ниже частоты гетеродина на величину, равную промежуточной частоте, но и сигналом, частота которого выше частоты гетеродина на эту же величину (фиг. 175). Следовательно, без предварительной избирательности (преселекции) на входе приемника он стал бы принимать одновременно две станции (если их несущие частоты расположены по обе стороны от частоты гетеродина и отстоят от нее как раз на величину, равную промежуточной частоте). Этот второй канал, на котором возможен прием в супергетеродине, называется зеркальным каналом. В лучшем случае, если в зеркальном канале нет другой станции, супергетеродин будет «принимать» через него атмосферные помехи, в результате чего шумы приемника сильно возрастут.

Поэтому необходимо избавиться от зеркального канала, что возможно только путем применения на входе приемника

одного или двух контуров, настроенных на принимаемую станцию. Это устройство называется преселектором.

Очень часто ограничиваются преселектором, состоящим только из одного колебательного контура, и совершенно не применяют усиления на высокой частоте. Однако в этом случае возникает опасность «пролезания» через преселектор в усилитель промежуточной частоты помех, частоты которых совпадают или близки к промежуточной частоте. Для предотвращения этого на входе приемника ставится фильтр, подавляющий те колебания, частоты которых равны или близки к промежуточной частоте.

Все отмеченные преимущества супергетеродина перед приемниками без преобразования частоты привели к тому, что все современные высококачественные ламповые приемники делаются по супергетеродинной схеме. Общее усиление, которое может дать хороший супергетеродинный приемник, огромно. При напряжении на входе в несколько микровольт супергетеродин дает на выходе напряжение, достаточное для работы громкоговорителя, т. е. в несколько вольт. Таким образом, приходящие сигналы усиливаются в супергетеродинном приемнике в несколько миллионов раз.

42. СХЕМА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

В первых супергетеродинных приемниках количество ламп было очень велико. Все лампы в основном были трехэлектродные, не позволявшие получить больших усилений. Колебания гетеродина и колебания от усилителя высокой частоты подводились к одной и той же сетке лампы, в которой производилось преобразование биений в колебания промежуточной частоты, аналогично тому, как детектор обычного приемника преобразует модулированные колебания в колебания низкой частоты. Поэтому лампа, в которой происходит преобразование частоты, прежде называлась первым детектором. Однако условия, при которых происходит преобразование частоты, все же существенно отличаются от условий обычного детектирования и поэтому название «первый детектор» не совсем правильно. Сейчас принято называть эту лампу преобразователем частоты или смесителем.

В современном приемнике очень редко можно встретить однотипные лампы в различных частях тракта усиления. Объясняется это специфическими требованиями, предъявляемыми к лампе в том или ином участке тракта. Правда, почти любая схема приемника может быть осуществлена на «универсальных» трехэлектродных лампах, но при этом, во-

первых, увеличивается общее число ламп в приемнике и, следовательно, усложняется схема приемника; а, во-вторых, в силу «универсальности» трехэлектродных ламп они хуже будут удовлетворять специфическим требованиям каждой данной ступени усиления и, следовательно, работа приемника в целом будет значительно хуже.

В современных приемниках колебания от гетеродина и от усилителя высокой частоты подаются на различные сетки специальной смесительной многоэлектродной лампы.

В массовых супергетеродинных приемниках усилитель высокой частоты часто отсутствует и колебания сигнала сразу из антенны поступают в колебательный контур, находящийся в цепи сетки смесительной лампы.

Наконец, в массовых приемниках функции гетеродинной и смесительной ламп объединяются в одной многоэлектродной лампе, называемой сложным преобразователем.

Благодаря применению многоэлектродных ламп количество ламп в массовом супергетеродинном приемнике может быть уменьшено до четырех и даже трех (не считая кенотрона), т. е. не превышает числа ламп в приемнике прямого усиления.

Перейдем теперь к анализу отдельных элементов супергетеродинного приемника. Как мы установили, супергетеродинный приемник может содержать следующие элементы: преселектор, усилитель высокой частоты, гетеродин, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор, цепь автоматической регулировки усиления и усилитель низкой частоты.

С некоторыми из этих элементов схемы супергетеродинного приемника мы уже знакомы. Так, например, преселектор представляет собой обычный колебательный контур, настраиваемый на частоту принимаемого сигнала. Усилители высокой и низкой частоты ничем не отличаются от усилителей, применяемых в приемниках прямого усиления. Детектор супергетеродинного приемника, как правило, представляет собой известный нам диодный детектор.

Таким образом, новыми элементами в супергетеродине являются: гетеродин, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты и схема автоматической регулировки усиления.

Рассмотрим эти новые для нас элементы схемы супергетеродинного приемника.

Начнем с гетеродина и преобразователя частоты. Назначением гетеродина является создание колебаний высокой

частоты, необходимых для преобразования частоты сигнала из высокой в промежуточную. С генерацией (возникновением) электрических колебаний в ламповой схеме мы уже познакомились при рассмотрении работы регенеративного приемника. В регенеративном приемнике при достаточно сильной обратной связи возникают собственные колебания. Тот же принцип возбуждения колебаний применяется и в гетеродине. В схеме с обратной связью устанавливается связь, превосходящая критическую, вследствие чего возникают незатухающие колебания, т. е. схема превращается в ламповый генератор или гетеродин.

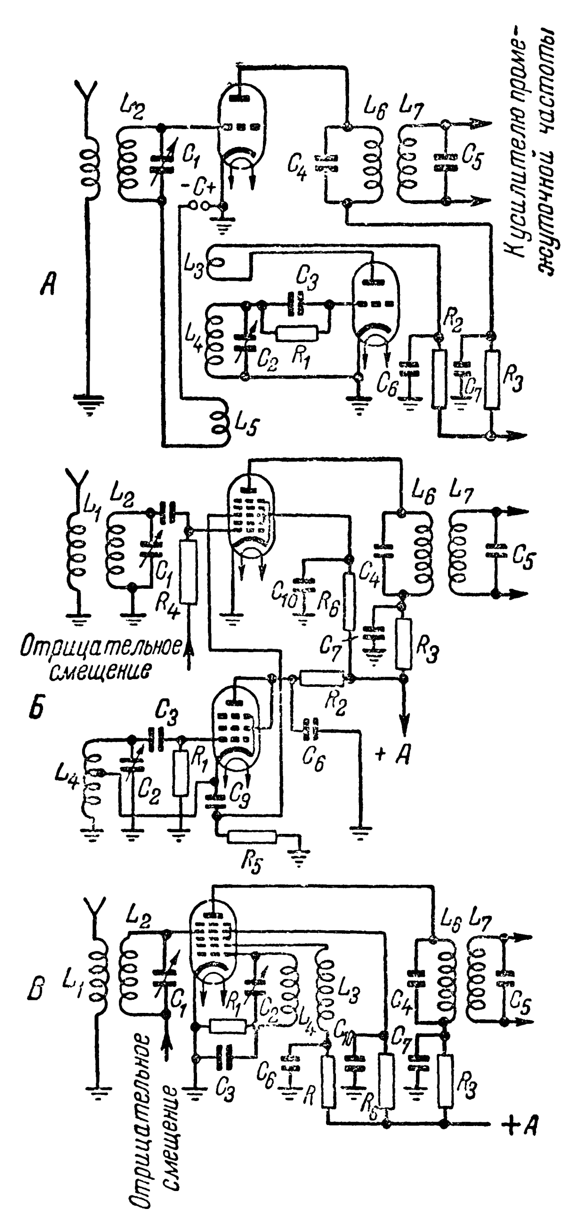
Задача изменения частоты колебаний, создаваемых гетеродином, решается очень просто. Так как гетеродин создает колебания той частоты, на которую настроен его колебательный контур, то для изменения частоты создаваемых колебаний требуется изменять настройку колебательного контура гетеродина. Таким образом, изменение частоты колебаний гетеродина производится тем же методом, как и изменение настройки регенератора — обычно с помощью переменного конденсатора.

Как указывалось выше, преобразование частоты в простейшем случае может быть произведено при помощи трехэлектродных ламп. На фиг. 176,*А* приведена схема преобразования частоты на трехэлектродных лампах. В нижней части этой фигуры помещена схема гетеродина. Генерирование колебаний в нем происходит совершенно так же, как в обычном регенераторе с обратной связью, превышающей критическую.

При помощи катушки связи L_3 колебания от гетеродина подаются в цепь сетки преобразовательной лампы. В эту же цепь подводятся колебания принимаемого сигнала. Конденсаторы настройки приемного контура и гетеродина (C_1 и C_2) имеют специальную форму пластин и укреплены на общей оси таким образом, что разность между частотой приемного контура и частотой гетеродина остается всегда одной и той же независимо от положения ручки настройки.

В результате сложения колебаний гетеродина и принимаемого сигнала в цепи сетки преобразовательной лампы возникают биения, частота которых равна разности частот гетеродина и принимаемого сигнала.

Преобразовательная лампа ставится в режим анодного детектирования путем подачи на ее сетку отрицательного смещения (зажимы $-C$ и $+C$). В результате детектирования в анодной цепи лампы получаются колебания частоты бие-



Фиг. 176. Схемы преобразования частоты.

ний (промежуточной частоты). Модулированы будут эти колебания точно таким же образом, как и колебания принимаемой высокой частоты.

Односеточное преобразование частоты, описанное выше, обладает рядом недостатков, поэтому, как уже указывалось, для преобразования частоты в настоящее время применяются специальные многоэлектродные лампы.

На фиг. 176,*Б* изображена схема преобразователя, в которой в качестве гетеродинной лампы применен пентод, а в качестве преобразовательной — гептод (семиэлектродная лампа).

Колебания из антенны подводятся к первой (считая снизу) сетке, а колебания от гетеродина — к третьей сетке Вторая и четвертая сетки являются экранирующими, а пятая—защитной. Преобразование частоты в гептоде происходит в результате периодического изменения параметров лампы под влиянием напряжения гетеродина.

Нередко функции гетеродинной лампы и преобразователя бывают совмещены в одной лампе. Для этого применяется лампа, представляющая собой либо комбинацию триода и экранированной лампы (гептод), либо комбинацию из триода и пентода (октод).

Схема преобразовательной ступени с использованием гептода приведена на фиг. 176,*В*.

В этом гептоде (лампе с пятью сетками) первая сетка (считая от катода) является сеткой гетеродина, вторая сетка выполняет роль анода гетеродина, третья сетка экранирует «верхний этаж» лампы от нижнего и представляет, кроме того, как бы катод для лампы, находящейся в «верхнем этаже», так как сквозь промежутки между ее витками электроны поступают в верхнюю часть лампы. Четвертая сетка представляет собой управляющую сетку, к которой подводятся колебания из антенны, и, наконец, пятая сетка является обычной экранирующей сеткой, как в экранированной лампе.

Если кроме этих сеток ввести еще одну — защитную, то получится лампа с восемью электродами, носящая название октода.

Схема использования октода ничем не отличается от схемы, приведенной на фиг. 176,*В*.

В большинстве приемников функции гетеродина и преобразователя частоты совмещаются в гептоде. Режим гептода выбирается так, чтобы удовлетворить следующим требованиям:

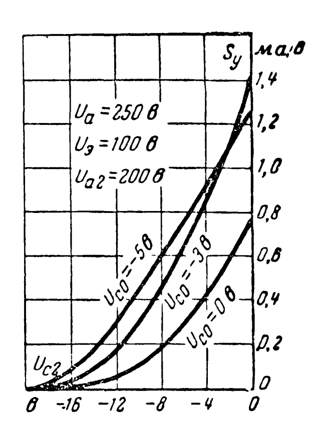
1. Получение наибольшего коэффициента усиления преобразователя.

2. Легкое возникновение генерации во всех диапазонах и стабильность генерируемой частоты.

3. Отсутствие свистов, обусловленных биениями гармоник гетеродина с сигналами других станций.

4. Экономичность режима.

Для получения наибольшего коэффициента усиления преобразователя нужно выбирать такое отрицательное смещение на управляющую сетку гептода, чтобы рабочая точка лежала на наиболее крутом из графиков, выражающих зависимости крутизны по управляющей сетке S_y от напряжения на сетке гетеродина U_{c2}. Из фиг. 177, приведенной в качестве примера, видно, что, например, для лампы 6А8 наиболее крутой график соответствует напряжению смещения U_{c0} на управляющей сетке равному — 3 *в*.



Фиг. 177. Выбор режима работы преобразовательной лампы.

Для уменьшения искажений рабочую точку нужно выбирать в середине прямолинейной части графика. На фиг. 177 такое положение рабочей точки будет при напряжении на гетеродинной сетке, равном — 8 *в*.

Равномерная генерация по всему диапазону и стабильность генерируемой частоты достигаются подбором величины обратной связи, сопротивления утечки сетки и напряжения на аноде гетеродина, как в обычном регенераторе. Режим тетродной части гептода устанавливается такой же, как при обычном усилении высокой частоты.

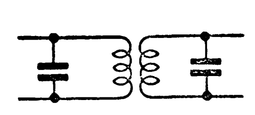
Усилитель промежуточной частоты отличается от усилителя высокой частоты отсутствием в его контурах переменных конденсаторов, которые заменяются полупеременными конденсаторами.

Настройка контуров промежуточной частоты производится только один раз при наладке изготовленного приемника. При пользовании приемником нет необходимости производить настройку или подстройку контуров усилителя промежуточной частоты, благодаря тому, что промежуточная ча-

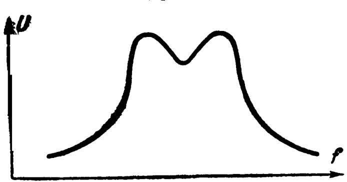
стота остается неизменной независимо от частоты принимаемого сигнала.

Очень часто в контурах усилителя промежуточной частоты ставят постоянные конденсаторы. В этом случае подстройка контуров производится при помощи магнетитовых сердечников в контурных катушках.

Полосовые фильтры, о которых говорилось выше, состоят из пары связанных колебательных контуров. Наиболее распространенным видом связи между контурами полосового фильтра является индуктивная связь (фиг. 178).



Фиг. 178. Полосовой фильтр с индуктивной связью.



Фиг. 179. Частотная характеристика полосового фильтра при сильной связи.

Настроив оба контура в резонанс и постепенно увеличивая связь между ними, можно заметить, что при достаточно большой связи вершина резонансной кривой притупляется и кривая приобретает так называемую «столообразную» форму. При дальнейшем увеличении связи, выше некоторого значения («критической связи»), у резонансной кривой появляется две вершины (фиг. 179), т. е. резонансная кривая становится «двугорбой».

Обычно в полосовых фильтрах величину связи между контурами подбирают так, чтобы получить резонансную кривую «столообразной» формы. При такой форме этой кривой усилитель промежуточной частоты будет обеспечивать высокую избирательность приемника, совмещая ее с хорошим пропусканием боковых частот модуляции.

Режим лампы в усилителе промежуточной частоты не отличается от режима ее работы в усилителе высокой частоты.

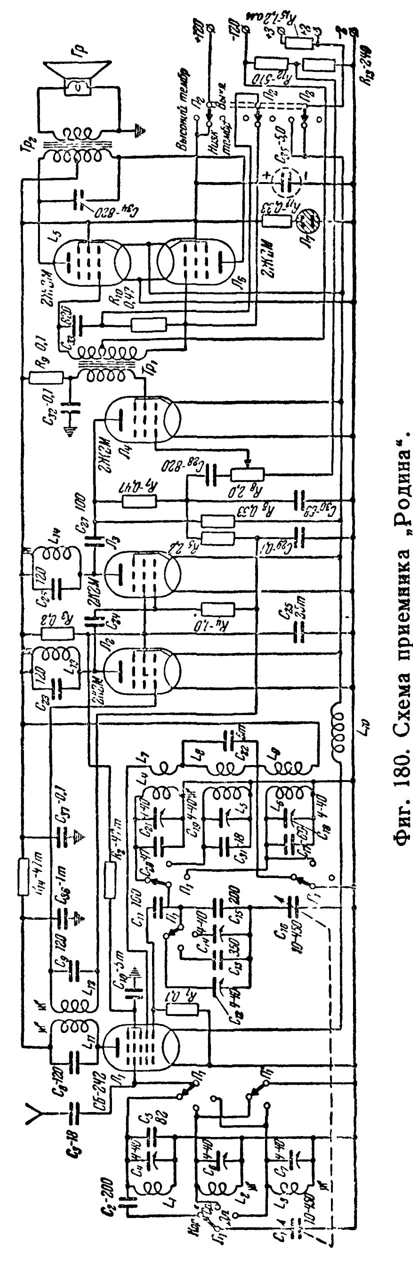
Ознакомившись с большинством элементов схемы супергетеродинного приемника, мы можем теперь перейти к рассмотрению его схемы в целом. Работу устройства для автоматической регулировки усиления мы рассмотрим после разбора схемы приемника в целом, так как это устройство охватывает несколько ступеней приемника.

Одним из наиболее распространенных приемников супергетеродинного типа является приемник «Родина» (фиг. 180). Этот приемник рассчитан на прием станций, работающих на длинных, средних и коротких волнах. Для этой цели приемник имеет три диапазона настройки: от 2 000 до 733 *м*, от 545 до 200 *м* и от 24 до 32,6 *м*.

В приемнике шесть ламп двухвольтовой серии, питание приемника может производиться от сухих батарей.

На входе приемника имеется три колебательных контура, по одному на каждый диапазон волн. Эти контуры состоят из катушек L_1, L_2 и L_3 и переменного конденсатора C_1. В каждый данный момент работает только один из этих контуров.

Переключение конденсатора C_1 и катушек L_1, L_2 и L_3 производится при помощи переключателя $П_1$. Конденсаторы C_4, C_6 и C_7 служат для подстройки колебательных контуров, а конденсаторы C_2 и C_5 — для более точного поддержания постоянной разности между частотами сигнала и гетеродина. Конденсатор C_3 служит для связи первого контура приемника с антенной.



Фиг. 180. Схема приемника „Родина“.

Усилителя высокой частоты в приемнике «Родина» нет. В качестве преобразователя частоты работает лампа СБ-242 (гептод). Схема преобразователя аналогична рассмотренной нами выше. Катушки L_4, L_5 и L_6 совместно с переменным конденсатором C_{16} образуют контуры гетеродина для трех диапазонов. Катушки L_7, L_8 и L_9 являются катушками обратной связи. Переключение контуров и катушек обратной связи гетеродина производится переключателем $П_1$ одновременно с переключением катушек входного контура приемника.

В анодной цепи преобразовательной лампы стоит полосовой фильтр, состоящий из катушек L_{11} и L_{12} и конденсаторов C_8 и C_9.

Усилитель промежуточной частоты имеет две ступени, в которых работают лампы 2К2М (пентоды). В анодных цепях этих ламп стоят одиночные колебательные контуры, состоящие из катушек L_{13} и L_{14} и конденсаторов C_{23} и C_{26}.

Лампа 2Ж2М (пентод) работает в режиме диодного детектирования. Колебания промежуточной частоты из контура $L_{14}C_{26}$ подаются на анод этой лампы через конденсатор C_{27}. Лампа 2Ж2М используется в схеме приемника «Родина» несколько своеобразно: она одновременно выполняет две функции — диодного детектора и усилителя низкой частоты.

Роль диода выполняют анод и катод лампы, а роль усилительного триода низкой частоты — экранная и управляющая сетки и катод. При этом экранная сетка выполняет функции анода.

Последние две лампы 2Ж2М работают в оконечной ступени на двухтактной схеме. Работа их происходит из соображений экономичности в режиме класса Б.

Громкоговоритель — динамического типа с постоянным магнитом.

Переключатель $П_2$ служит для включения приемника и для регулировки тембра передачи. При нахождении этих переключателей в среднем положении приемник включен и одновременно закорочено сопротивление R_{10}, благодаря чему срезаются верхние звуковые частоты. В верхнем положении переключателей сопротивление R_{10} включается и полоса пропускания приемника расширяется. В нижнем положении переключателя приемник выключен.

Неоновая лампа $Л_7$ является сигнальной; ее свечение указывает, что приемник включен.

Мы кратко рассмотрели принципиальную схему одного из простейших супергетеродинных приемников. Остается еще познакомиться с принципом действия схемы автоматической регулировки усиления.

43. АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

На коротких волнах сила радиоприема никогда не бывает постоянной. «Пространственные» волны, отражающиеся от верхних слоев атмосферы и прошедшие различные пути, в зависимости от соотношений между фазами то усиливают друг друга в месте приема, то взаимно ослабляются. В результате происходят так называемые замирания приема, когда сила сигналов ослабляется в сотни и тысячи раз. Замирания происходят настолько часто, что успевать от руки регулировать усиление приемника совершенно невозможно. Поэтому применяется автоматическая регулировка усиления (АРУ).

Регулировка усиления должна осуществляться так, чтобы при этом не ухудшалось другое важное качество приемника — его избирательность. Следовательно, для понижения усиления нельзя расстраивать приемник или «портить» его контуры. Наиболее целесообразный путь — это изменение усиления за счет изменения параметров ламп. Усиление сигнала в ступени высокой или промежуточной частоты зависит от крутизны характеристики лампы. Поэтому, перемещая рабочую точку из области, где крутизна характеристики велика, в область, где она мала, можно изменять усиление, даваемое ступенью.

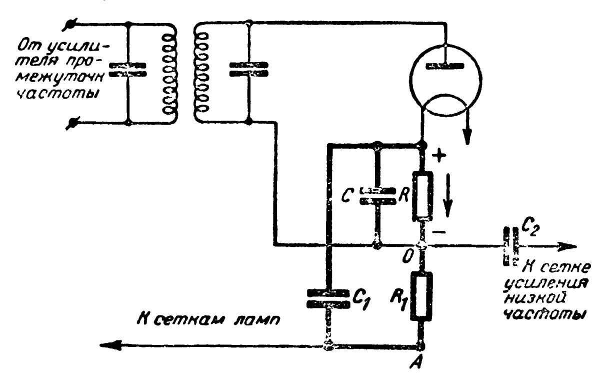
Для целей регулировки усиления, как мы знаем, существуют специальные лампы с сильно растянутой характеристикой, крутизна которой в рабочей области меняется в широких пределах.

Смещая рабочую точку влево (с помощью отрицательного сеточного смещения), можно в широких пределах изменять усиление ступеней, работающих на лампах с переменной крутизной. Такие лампы устанавливают в ступенях усиления промежуточной частоты супергетеродина. Изменяя смещающее напряжение на сетках этих ламп, можно изменять усиление, даваемое приемником.

Принцип действия автоматической регулировки усиления состоит в следующем. При детектировании сигналов на нагрузке детектора помимо напряжений звуковой частоты появляется и некоторое постоянное напряжение, величина которого растет по мере увеличения силы сигналов. Это

постоянное напряжение и используется в качестве смещающего напряжения на сетки ламп с переменной крутизной. Чем сильнее принимаемые сигналы, тем больше смещающее напряжение и тем меньше усиление приемника. В результате даже при очень больших изменениях силы сигнала на входе приемника напряжение, подводимое к детектору, меняется только в небольших пределах, так как изменение силы сигнала компенсируется соответствующим изменением усиления приемника.

Простейшая схема автоматической регулировки усиления изображена на фиг. 181. Постоянный ток во внешней цепи диода направлен от катода к аноду и создает в точке O



Фиг. 181. Простейшая схема автоматической регулировки усиления.

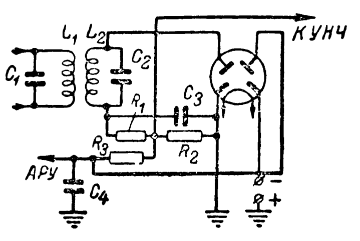
некоторое отрицательное напряжение по отношению к катоду. Это напряжение и используется в качестве смещающего для ламп с переменной крутизной. Чтобы на сетки этих ламп не попадала звуковая частота, действующая в цепи детектора, смещающее напряжение подается через большое сопротивление R_1, зашунтированное большой емкостью C_1. Эта емкость практически представляет собой короткое замыкание для токов звуковой частоты и поэтому в точке A не будет переменного напряжения звуковой частоты. С другой стороны, так как сопротивление R_1 велико, то напряжение звуковой частоты, существующее в точке O, не замкнется через конденсатор C_1 и будет попрежнему попадать через разделительный конденсатор C_2 на сетку лампы усилителя низкой частоты.

Рассмотренная нами схема автоматической регулировки усиления редко применяется в таком виде. Она дополняется

и усложняется для того, чтобы обеспечить более совершенную регулировку усиления. Мы привели эту простейшую схему для того, чтобы на ней выяснить самую идею автоматической регулировки усиления.

Самым крупным недостатком описанной схемы автоматической регулировки усиления является то, что она начинает уменьшать усиление, начиная с самых слабых сигналов. В самом деле достаточно появиться на входе приемника самому слабому сигналу, как на сопротивлении нагрузки детектора возникнет постоянное напряжение, которое немедленно попадает на сетки усилительных ламп, в результате чего усиление приемника будет в какой-то мере уменьшено.

От этого недостатка свободна схема так называемой задержанной АРУ. Один из вариантов такой схемы изображен на фиг. 182. В этой схеме двойной диод также выполняет одновременно две функции — детектирование и автоматическую регулировку усиления. В качестве детектора здесь работает левый диод. Напряжение смещения для АРУ также снимается с нагрузки левого диода R_2. Цепь из сопротивления R_3 и конденсатора C_4 служит для сглаживания пульсаций тока звуковой частоты. Таким образом, напряжение на конденсаторе C_4 будет уже не пульсирующим, а постоянным. Это напряжение будет зависеть только от амплитуды несущей. Оно и используется для АРУ.

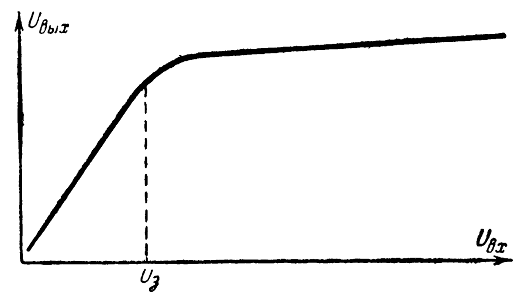


Фиг. 182. Схема задержанной АРУ.

Второй диод (правый) обеспечивает задержанную АРУ. Через землю и через сопротивления R_2 и R_3 на правый диод подается небольшое положительное напряжение (порядка 3—4 *в*), благодаря чему в цепи этого диода все время течет ток, образующий постоянное падение напряжения на сопротивлениях R_2 и R_3. Вследствие этого при слабых сигналах смещение, подаваемое на сетки ламп предыдущих ступеней, будет оставаться практически постоянным. АРУ будет начинать действовать только после того, как сигнал приобретет достаточную величину. При слабых сигналах усиление приемника снижаться не будет.

Положительное напряжение для задержки действия АРУ, обычно берут от цепи смещения усилителя низкой частоты.

На фиг. 183 изображен график, иллюстрирующий действие задержанной АРУ. Вдоль горизонтальной оси этого графика отложены напряжения на входе приемника, а вдоль вертикальной оси — напряжения на его выходе. Коэффициент усиления приемника пропорционален крутизне графика. Как видно из графика, пока $U_{вх}$ не достигло напряжения



Фиг. 183. График задержанной АРУ.

задержки $U_з$, усиление приемника остается неизменным и большим. При напряжениях, больших, чем $U_з$, усиление приемника быстро уменьшается и напряжение на выходе $U_{вых}$ становится почти независящим от напряжения на входе. Иначе говоря, если напряжение на входе превышает $U_з$, то громкость приема почти не зависит от силы принимаемых сигналов.

44. ПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНИКОМ

Перед установкой нового приемника рекомендуется ознакомиться с его схемой и запомнить расположение его ручек управления и порядок пользования ими.

В каждом современном супергетеродинном приемнике имеются следующие пять органов управления: выключатель, регулятор громкости, переключатель диапазонов, регулятор тембра и ручка настройки.

Некоторые из этих органов управления приемником часто совмещаются попарно в одной ручке, например выключатель и регулятор тембра или настройка и переключатель диапазонов.

Ознакомившись с особенностями приемника, можно приступить к его установке.

Место установки приемника не должно быть очень сырым или теплым. Нельзя, например, устанавливать при-

емник на подоконнике или у печки. В сыром месте металлические части приемника быстро окисляются, а выводы катушек, трансформаторов и дросселей разъедаются окисью в местах спаев. Кроме того, в очень сыром или очень теплом месте быстрее портятся батареи накала и анода (в батарейных приемниках) и электролитические конденсаторы. Иногда от сырости и высокой температуры коробятся или растрескиваются стенки ящика приемника.

Не рекомендуется также устанавливать приемники в местах, подверженных непосредственному воздействию лучей солнца (возле окна и т. д.).

При питании приемника от сети переменного тока его следует устанавливать недалеко от штепсельной розетки осветительной сети.

Прежде чем устанавливать наружную антенну, надо вначале проверить возможность приема интересующих нас станций на комнатную антенну.

Устройство комнатной антенны для детекторного приемника описывалось в первой части этой книги. Антенна для супергетеродинного приемника может быть сделана значительно короче: ее длина может быть около 5—6 *м*. Вместо заземления можно воспользоваться батареей парового отопления, водопроводной сетью, металлической кроватью. Для сетевых же приемников можно вообще не применять заземления.

До включения в приемник электропитания надо проверить правильность установки ламп в нем, т. е. убедиться, что все лампы стоят точно в предназначенных для них местах. В приемнике с питанием от сети переменного тока следует установить на требуемое напряжение колодку на силовом трансформаторе (110, 127 или 220 *в*), а в приемнике с питанием от батарей проверить соответствие напряжения батареи накала и анодной батареи требованиям инструкции.

В батарейных приемниках с лампами двухвольтовой серии имеется обычно две клеммы для присоединения плюса батареи накала (+3 и +2 *в*).

Новую, не бывшую в употреблении, батарею накала, состоящую из двух элементов, следует всегда соединять с клеммой +3 *в*. В клемме +2 *в* батарею можно присоединять лишь только тогда, когда она заметно разрядится и поэтому приемник перестанет нормально работать — резко понизится громкость приема.

Подключив к приемнику антенну, заземление и батареи (или включив его в сеть переменного тока), можно приступать к его настройке.

Питание включается в приемник поворотом ручки выключателя вправо. При этом все лампы приемника должны загореться, а в приемниках, имеющих световой указатель настройки (указатель включения), должен засветиться этот указатель.

Регулятор громкости ставится в среднее положение. При этом в громкоговорителе должны появиться шорохи и трески.

Переключатель диапазонов вначале ставится в положение «длинные волны» и медленным вращением ручки «настройка» проходится весь диапазон. На этом диапазоне приемник должен принять не менее одной-двух московских станций. Затем переключатель диапазонов ставится в положение «средние волны» и таким же способом проверяется средневолновый диапазон. На средневолновом диапазоне днем удается принять обычно только местную станцию. Зато вечером и ночью на этом диапазоне приемник должен принять не менее десятка станций.

Настройка на коротковолновом диапазоне производится особенно медленно (если приемник не имеет так называемых «растянутых» диапазонов). Дело в том, что коротковолновый диапазон охватывает очень широкую область частот (в десятки раз больше длинноволнового и средневолнового диапазонов), поэтому и станции на шкале этого диапазона расположены в десятки раз теснее, чем на других диапазонах. При быстром вращении ручки настройки на коротковолновом диапазоне можно «проскочить» станцию, даже не заметив ее передачи.

При пользовании регулятором громкости следует иметь в виду, что чрезмерная громкость всегда сопровождается искажениями передачи за счет перегрузки громкоговорителя и выходной ступени приемника.

Тембр звучания устанавливается по желанию радиослушателя. Рекомендуется «срезать» верхние звуковые частоты при приеме слабых и дальних станций, прием которых сопровождается более сильными атмосферными и промышленными помехами. Срезание верхних частот не вредит, а иногда даже бывает полезным при приеме речевых передач и при воспроизведении граммофонной записи. В массовых супергетеродинных приемниках имеется только одна ручка для регулировки тембра. В крайнем левом положе-

нии этой ручки срезаются высокие частоты, а при установке ее в крайнее правое положение подчеркиваются эти частоты. В приемниках первого класса имеются отдельные ручки для регулировки воспроизведения верхних и нижних частот. Нижние частоты (басы) подчеркиваются при слушании духового или симфонического оркестра.

В случае колебаний напряжения электросети необходимо приобрести или изготовить самому автотрансформатор с секционированной обмоткой, необходимый для регулировки напряжения, подводимого к приемнику.

При перегорании предохранителя, применяемого обычно на входе силового трансформатора, ни в коем случае нельзя заменять его предохранителем, рассчитанным на другую силу тока, или, тем более, проводником произвольного диаметра.

Нельзя производить смену ламп в приемнике при включенном в сеть приемнике.

Наружную антенну, как правило, по окончании приема надо отключать от приемника и заземлять.

У батарейного приемника при выключении рекомендуется отсоединять не только накальную, но и анодную батарею (достаточно отключать плюсовой ее провод).

При соблюдении всех перечисленных правил пользования приемник будет безотказно служить в течение продолжительного времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Русские ученые и инженеры, продолжая работы по внедрению и развитию величайшего открытия своего гениального соотечественника А. С. Попова, дали нашей социалистической Родине много ценнейших работ в области теории и практического применения радио. Работы М. В. Шулейкина, М А. Бонч-Бруевича, А. А. Чернышева, В. Н Вологдина, Л И. Мандельштама, Н. Д. Папалекси, А. Н. Щукина, Б. А. Введенского, А. Л. Минца, А. И. Берга, М. А. Леонтовича и других ученых нашей Родины позволили решить ряд важнейших теоретических и практических задач радиотехники, значительно расширивших области применения радио.

Благодаря радио стало возможным массовое телевидение — передача и прием изображений.

Развитие радио создало новую область связи — высокочастотное телефонирование, позволяющее производить сотни разговоров одновременно по одному телефонному кабелю.

Радио открыло совершенно новые возможности в телемеханике — управлении механизмами на расстоянии. Как управляемый объект, так и пункт, откуда производится управление, перестали быть связанными друг с другом проводами и получили возможность передвижения по земле, по воде и в воздухе. Стало возможным управление на расстоянии кораблями, самолетами и ракетами. Радиотелемеханике, несомненно, предстоит найти широкое применение на необъятных просторах нашей Родины и, в частности, на великих стройках коммунизма, современниками и участниками которых мы являемся.

Развитие радиотехники привело к возникновению телевидения и радиолокации — обнаружению и определению местоположения какого-либо объекта при помощи радиоволн.

Радиотехника находит все большее и большее применение в самых различных областях науки, техники, промышленности, сельского хозяйства.

Токи высокой частоты применяются для выплавки лучших сортов стали, для поверхностной закалки металлов, для сушки древесины. Нагрев токами высокой частоты практикуется в текстильной, бумагоделательной и пищевой промышленности — при сушке пряжи, бумаги, при пастеризации продуктов питания и в целом ряде других случаев.

Радиоволны применяются в медицине для лечения обмораживаний и воспалительных процессов. Радиоаппаратура применяется также для изучения деятельности мозга и работы сердца.

Облучение радиоволнами растений и семян используется для ускорения роста растений и для придания им новых качеств.

Вот далеко неполный перечень всех возможных применений радиотехники, основоположником которой является А. С. Попов.

В данной книге авторы не ставили перед собой задачу рассказать о всем многообразии применений радиотехники Они будут вполне удовлетворены, если эта книга поможет читателю овладеть первоначальными элементарными знаниями из области радиотехники и если читатель не остановится на этом, а будет продолжать совершенствоваться в этой области дальше.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
34	3 сверху	(участок *БГ*)	(участок *БВ*)
36	7 »	увеличение напряжению	увеличению напряжения
45	11 »	$= \frac{R_a S_\partial U_a}{U_c} =$	$= \frac{R_a S_\partial U_c}{U_c} =$
66	21 »	Единственный путь	Наиболее действенный путь
66	23 и 24 сверху	на сетку служит экранирование. Роль этого электрического	на сетку, т. е. экранирование. Роль электрического
78	5 снизу	лампа в натуральную величину.	лампа и указаны ее размеры.
16	7 сверху	многоэлектронных	многоэлектродных
23	18 »	кривых напряжений	кривой напряжения
126	16—18 сверху	на три основные группы: 1) нелинейные искажения; 2) частотные искажения; 3) фазовые искажения.	на две группы: 1) нелинейные искажения и 2) частотные искажения.
135	6 снизу	усиливается	усиливают
142	15 »	сильные токи	сеточные токи
239	16 сверху	ламп в приемнике при	ламп при
240	12 »	к возникновению телевидения и радиолокации	к возникновению радиолокации

А. Д. Батраков и С. Кин „Элементарная радиотехника“.

Цена 5 р. 5 к.